Ю.А.ГУЛОЯН

ТЕХНОЛОГИЯ СТЕКЛОТАРЫ И СОРТОВОЙ ПОСУДЫ

Издание второе, переработанное и дополненное

Допущено Министерством промышленности строительных материалов СССР в качестве учебника для техникумов промышленности строительных материалов

МОСКВА
ЛЕГПРОМБЫТИЗДАТ
1986

ББК 35.41
Г94
УДК 666.17 (075.3)

Рецензенты – зам. директора ВНИИСПВ, докт. хим. наук М.С. Асланова, преподаватель Гусевского стекольного техникума З.И. Зобкова.

Гулоян Ю.А. Технология стеклотары и сортовой посуды.
Г94 Учебник для техникумов. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 264 с., ил.

Рассмотрены основные технологические процессы производства стеклотары и сортовой посуды. Приведены составы стекол, их свойства, характеристики оборудования и поточных линий, сведения по стандартизации и управлению качеством продукции, эффективности технологических процессов, охране труда и окружающей среды.

Для учащихся техникумов промышленности строительных материалов.

Г $\frac{2802030000 - 005}{044(01) - 86}$ 005 – 86 ББК 35.41

ВВЕДЕНИЕ

Стеклянная тара и изделия сортовой посуды характеризуются наличием развитой внутренней полости и вырабатываются механизированным и ручным способами. Каждое изделие формуется из заготовки (капли, набора). Изделия сортовой посуды, как правило, подвергаются декорированию различными способами.

Стеклянная тара служит для расфасовки пищевых продуктов, лекарственных препаратов, косметических веществ, химических реактивов.

Сортовая посуда и художественные изделия предназначены для непосредственного использования в быту.

Назначение стеклянной тары и сортовой посуды позволяет отнести их к самым древним изделиям из стекла.

Начало стеклоделия обычно относят к IV в. до н.э. Об этом свидетельствуют предметы из стекла, найденные во время археологических раскопок и хранящиеся в музеях разных стран.

В древнейшие времена стеклянные изделия оформляли способом пластического формования, близким к приемам ручной лепки. Затем появились способы прессования и прокатывания с наматыванием пласта на глиняный стержень. Все эти способы, очевидно, были заимствованы из ранее развившихся керамического и металлургического производств. Значительно позже возникают способы формования, пригодные лишь для стекла. Революцией в производстве стеклоизделий можно считать изобретение способа выдувания стекла и стеклодувной трубки.

Ориентировочно это событие можно отнести ко II–I в. до н.э. Одним из самых древних способов декорирования стекла является его роспись. Известно, что еще в древнем Египте изделия из стекла расписывали безобжиговыми красками. Попытки гравировать стекло приемами, заимствованными из камнеобработки, известны примерно с VIII в. до н.э. На сохранившихся древних изделиях и сосудах имеются украшения в виде шлифованных ямок и плоскостей.

Значительное развитие стеклоделие получило в античные времена, когда изготовляли всевозможные сосуды, кувшины, вазы, бутылки для вина, чаши, стаканы, бусы и предметы декоративного назначения часто большой художественной ценности. В этот период была освоена техника декорирования стекла на станке с вращающимся шлифовальным кругом. Стеклянные предметы украшали гранями и легкой линейной резьбой. Древние мастера использовали также гравирование на стекле рельефных изображений. К этому виду искусства относится знаменитый образец древнего художественного стекла – "Портландская ваза".

В последующие периоды развитие стеклоделия характеризовалось совершенствованием приемов выработки и обработки, применением новых составов стекол. Известны достижения стеклоделов Константинополя и Венеции.

Увеличение выпуска продукции долгое время тормозилось ограниченной производительностью горшковой печи. Первая ванная стекловаренная печь Ф. Сименса, построенная в 1870 г., дала возможность вырабатывать большое количество стекла. Появились предпосылки для механизации труда в стекольном производстве.

За необычайно короткий срок производство стеклоизделий из ручного полукустарного превратилось в непрерывное со сложными автоматическими машинами огромной производительности, тогда как в течение почти 2 тыс. лет полые стеклоизделия изготовляли с помощью стеклодувной трубки и примитивных приспособлений.

В XIX в. начинают применять прессование в формах, появляется рычажный пресс. Принципиальные основы техники выдувного и прессовыдувного процессов изготовления стеклотары разработал Ф. Арбогаст в 1881 г.

Первая машина с ручным приводом, изготовленная по патенту Ф. Арбогаста, появилась лишь в 1893 г., в 1903 г. Г. Брук изобрел питатель с непрерывной подачей стекла, в 1915 г. в промышленных масштабах стал применяться капельный питатель, в 1917 г. на одном из заводов фирмы "Оуэнс" (США) производство бутылок было полностью механизировано.

В 1920–1930 гг. широкое распространение получают машины Линча с двумя прерывисто вращающимися столами. В дальнейшем были созданы секционные и непрерывно вращающиеся машины, которые используются и в настоящее время. Машинная выработка стекла коренным образом изменила технологический процесс, многократно увеличив производительность труда.

Начало развития стеклоделия в России относится к IX–X вв. Археологические раскопки показывают, что первыми стеклянными изделиями на Руси были браслеты, перстни и бусы. В XI–XIII вв. на Руси производили тонкостенные бокалы с массивным круглым дном. Большое внимание в этот период уделялось мозаичному производству. О высоком качестве стеклянных изделий, производимых на Руси, уже в X в. было известно в странах Западной Европы, с которыми Киев вел оживленную торговлю.

В XIII в. развитие ремесел, в том числе и стеклоделие, на Руси приходит в упадок. Первые признаки возрождения стеклянного производства относятся к XV в., когда появляется продукция украинских стекольных гут (посуда и оконное стекло). Первые стекольные заводы в России возникли в XVII в.

Большой вклад в совершенствование стекольного производства внес М.В. Ломоносов, поставив стекольное производство на научную основу. В Усть-Рудице он в 1752–1754 гг. создал промышленное предприятие, где возродил производство художественных цветных стекол.

Периодическая система элементов Д.И. Менделеева, его капитальный труд "Основы химии" (1869 г.) и другие работы (например, вышедшая в 1864 г. книга "Стекольное производство") сыграли большую роль в развитии стекольного производства.

Стекольная промышленность в России в целом была одной из наиболее отсталых отраслей. Положение изменилось только после Октябрьской социалистической революции. Были построены механизированные заводы по производству бутылок и консервной тары в Орджоникидзе, Херсоне и других городах, механизирован ряд заводов сортового стекла. За короткий срок была создана мощная стекольная отрасль промышленности, оснащенная передовой техникой.

В 1918–1919 гг. были организованы Государственный оптический институт и Испытательная стеклокерамическая станция. На базе этой станции в 1930 г. организован Научно-исследовательский институт стекла. Подготовка инженерных кадров организована в Московском химико-технологическом институте имени Д.И. Менделеева, Ленинградском технологическом институте имени Ленсовета и других высших учебных заведениях. В 1932 г. создается стекольный техникум в г. Гусь-Хрустальном.

Большое внимание уделяется развитию науки о стекле. В 1948 г. создается Институт химии силикатов АН СССР. Необходимость ускорения научно-технического прогресса в области производства стеклянной тары и сортовой посуды привела к созданию в 1960 г. специализированного филиала Государственного научно-исследовательского института стекла (ГИС) в г. Гусь-Хрустальном.

В настоящее время в стекольной промышленности работают высокопроизводительные механизированные и автоматизированные линии, на которых производят стеклотару, массовые прессованные изделия сортовой посуды, изделия иа ножке, выдувные стаканы, термосные колбы. Но вместе с тем сохраняется и ручное производство, особенно высокохудожественных сортовых изделий.

В производстве стеклянной тары и сортовой посуды многие процессы осуществляются недостаточно эффективно. В связи с этим возрастает роль квалифицированных специалистов, которые должны в совершенстве знать технологию и творчески применять полученные знания при работе на стекольном заводе.

Второе издание учебника написано в соответствии с программой курса "Технология стеклотары и сортовой посуды" для средних специальных учебных заведений по специальности 0804 "Технология стекла и изделий из него".

По сравнению с первым изданием содержание учебника существенно переработано и дополнено. Так, отдельная глава посвящена окрашиванию и обесцвечиванию стекломассы, дополнительно введены главы по основам стандартизации, охране труда и окружающей среды. Более подробно рассмотрены теоретические основы различных технологических процессов.

Автор выражает глубокую благодарность рецензентам – Герою Социалистического Труда, заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, докт. хим. наук, проф. М.С. Аслановой и преподавателю Гусевского ордена "Знак Почета" стекольного техникума З.И. Зобковой за ценные замечания при рецензировании рукописи.

Отзывы и предложения по учебнику просьба направлять по адресу: 113184, Москва, М-184, 1-й Кадашевский пер., 12, изд-во "Легкая промышленность и бытовое обслуживание".

§ 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СТЕКЛОВИДНОМ СОСТОЯНИИ И СТРОЕНИИ СТЕКЛА

Стекловидное состояние занимает как бы промежуточное положение между кристаллическим и жидким. Четкость форм изделий из стекла делает его сходным с твердыми кристаллическими телами; по асимметричности структуры и изотропности оно сходно с жидкостями. По общепринятому определению стеклом называют аморфные тела, получаемые путем переохлаждения расплава независимо от их состава и температурной области твердения. Стекла обладают в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твердых тел, причем процесс перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым. Это определение стекла отражает наиболее характерные его свойства.

Стекла не имеют определенной температуры твердения или плавления. Эти процессы происходят постепенно в некотором температурном интервале. С изменением температуры изменяются термодинамические функции состояния и физико-химические свойства стекла (рис. I.1).

Переход от жидкого состояния к твердому и обратно происходит через пластическое состояние. Как видно из рис. I.1, в области пластического состояния характер изменения свойств в зависимости от температуры существенно меняется.

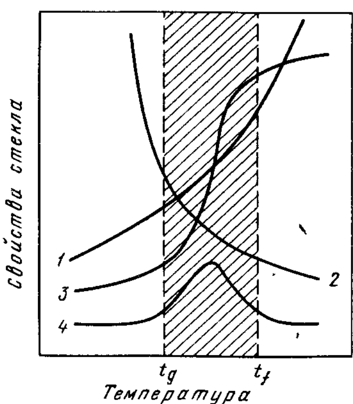


Рис. I.1. Зависимость от температуры внутренней энергии, энтальпии, энтропии, молярного объема (*1*), вязкости, удельного электрического сопротивления (*2*), температурных коэффициентов линейного и объемного расширения (*3*), теплопроводности (*4*); $t_g - t_f$ – аномальный интервал

В связи с этим следует различать две температуры: t_g – температуру, ниже которой стекло приобретает хрупкость (ей соответствует вязкость 10^{12} Па·с), и t_f – температуру, выше которой стекло приобретает свойства, типичные для жидкого состояния (ей соответствует вязкость, равная приблизительно 10^8 Па·с). При температуре t_f из размягченного стекла можно вытянуть тонкие нити. Интервал температур $t_g - t_f$ часто называют аномальным, так как именно в нем наблюдается наиболее характерное изменение многих свойств стекол в зависимости от температуры. Интервал $t_g - t_f$ определяется химической природой стекла; для разных стекол он колеблется от нескольких десятков до сотен градусов.

Например, для тарного стекла $t_g = 550°$ C, $t_f = 700°$ C, $t_g - t_f = 150°$ C, для свинцового хрусталя – соответственно 440, 570 и 130° C. Аномальным интервалом широко пользуются в науке и практике стеклоделия. Однако следует помнить об относительном характере этого понятия, так как резкая граница изменения свойств при изменении температуры стеклообразных веществ отсутствует.

Современные представления о строении стекла базируются на фундаментальных положениях неорганической и физической химии, кристаллохимии, физики и химии твердого состояния и отдельных гипотезах, основу которых составляют эмпирические зависимости свойств стекла от состава, температуры и других факторов.

Известны следующие основные гипотезы строения стекла:

кристаллитная, предложенная А.А. Лебедевым. Согласно этой гипотезе в процессе охлаждения образуются мелкие и непрерывно связанные кристаллиты – крайне малые и сильно деформированные структурные образования, центральная часть которых имеет наиболее упорядоченное строение. По мере перехода от центральной части к периферии в структуре кристаллита накапливается все больше отклонений от первичного расположения частиц, поэтому в периферийной области структура кристаллита оказывается аморфной. По А.А. Лебедеву, кристаллиты образованы химическими соединениями или твердыми растворами соединений, а состав кристаллита определяется по диаграмме состояния системы. Гипотеза положила начало развитию представлений о микронеоднородном строении стекол;

переохлажденной жидкости, предложенная Г. Тамманом. Расплавленные силикаты при быстром охлаждении переходят в стеклообразное состояние вследствие быстрого возрастания вязкости. Рост вязкости при снижении температуры не позволяет атомам и их группам занять наиболее выгодное энергетическое положение в пространстве и образовать зародыши кристаллов. Частицы стеклообразующего расплава имеют подвижность на много порядков меньшую, чем частицы расплава металлов. Большую вязкость имеют расплавы многих боратов, фосфатов и органических соединений – все они легко переходят в стеклообразное состояние;

ближнего порядка, предложенная П.П. Кобеко и другими учеными. Согласно гипотезе в процессе охлаждения расплава стекла изменяется его равновесная структура в ближнем порядке. При стекловании фиксируется структура, характеризуемая вблизи температуры стеклования более плотным и упорядоченным расположением частиц по сравнению со структурой переохлажденных жидкостей;

агрегативная, предложенная О.К. Ботвинкиным, Э. Бергером и другими учеными. Согласно данной гипотезе при снижении температуры проис-

ходят обратимые реакции структурирования, приводящие к изменению химической структуры, образованию молекулярных агрегатов, ассоциаций и комплексов. О.К. Ботвинкин считает, что перегиб на кривых, характеризующих свойства стекла, зависит от вида агрегатов, которые возникли в стекле первыми и образовали пространственную сетку;

кристаллохимическая (или ионная), устанавливающая сходство между структурой кристаллического и стеклообразного состояний. Разновидностями гипотезы являются гипотезы В. Гольдшмидта, В. Захариасена, А.А. Аппена и других ученых. По В. Захариасену, в стеклах существует непрерывная сетка с ионами или их группами в фиксированных положениях. Сетка отличается от кристаллической решетки отсутствием периодичности и симметрии в расположении структурных групп, например тетраэдров SiO_4, внутри которых ближний порядок сохранен. А.А. Аппен рассматривает стеклообразование в связи со способностью оксидов-стеклообразователей к образованию пространственных каркасов в кристаллическом и стеклообразном состояниях. В связи с этим свойства стеклообразных веществ определяются такими структурными факторами, как степень связности кремнекислородного каркаса, координационное состояние катионов, поляризация и компактность упаковки ионов. Координационная сетка (каркас) рассматривается как неопределенное химическое соединение, а структурные группы в стекле – как определенные химические соединения;

полимерная, предложенная В.В. Тарасовым, Д. Стевелсом и развиваемая другими учеными. Гипотеза исходит из полимерного строения стеклообразователей, являющихся основными составными частями многокомпонентных стекол. Изучая теплоемкости стеклообразных силикатов при низких температурах и анализируя результаты экспериментов на основе квантовой теории, В.В. Тарасов установил наличие в стекле упорядоченных анионных групп. Например, в стеклообразных мета- и бисиликате натрия обнаружены бесконечные цепочки $SiO_{3\infty}$ и $Si_2O_{5\infty}$.

Таким образом, стекло обладает весьма сложным строением. Каждая из изложенных гипотез его строения акцентирует только некоторые из структурных параметров стекла. Поэтому имеются попытки сблизить разные взгляды и создать более общую теорию. Как отмечает А.А. Аппен, принцип "вязаной структуры" ныне принимается в той или иной мере как реальность всеми основными гипотезами строения стекла. Разногласия во взглядах на природу стекла должна разрешить в конечном счете практика.

§ 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКОЛ

Совокупность физико-химических свойств и характеристик стекол позволяет осуществлять технологические процессы варки стекла, формования и обработки изделий, а также определяет внешний вид и эксплуатационную надежность изделий. Физико-химические свойства и характеристики зависят от химического состава стекол и могут быть определены расчетным путем. Данные для расчета различных свойств стекол приведены в приложении I.

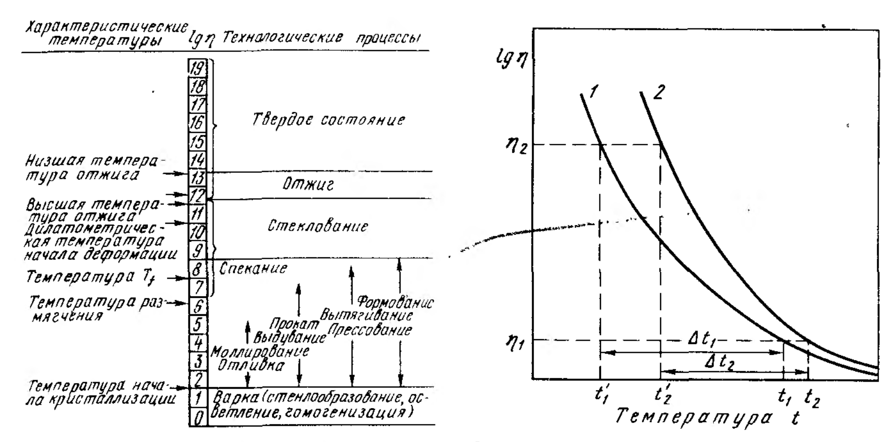


Рис. I.2. Технологическая шкала вязкости

Рис. I.3. Температурные зависимости вязкости "длинных" (*1*) и "коротких" (*2*) стекол

Вязкость стекол. Вязкость является основным свойством стеклообразующего расплава. Вязкость характеризует внутреннее трение, возникающее при перемещении одного слоя расплава относительно другого. Вязкость выражается силой (на единицу площади соприкосновения двух слоев), которая достаточна для поддержания определенной скорости перемещения одного слоя относительно другого. Единица измерения вязкости Па·с. Вязкость имеет важное значение для технологических процессов получения стекла и изделий из него. Вязкость расплава во многом определяет скорости варки, осветления и гомогенизации стекла. Скорость растворения и химического взаимодействия компонентов в расплаве и диффузионных процессов тем больше, чем меньше вязкость стекломассы. Скорость осветления, выражающаяся скоростью подъема газовых пузырей, также увеличивается с уменьшением вязкости. Широкий диапазон изменения вязкости обеспечивает возможность формования стекла различными способами. С вязкостью связаны процессы термической обработки стеклоизделий. При отжиге вязкость определяет скорость снятия внутренних напряжений. При закалке быстрое возрастание вязкости замораживает определенное распределение напряжений и изделие приобретает повышенную прочность.

Важнейшей технологической характеристикой является зависимость вязкости стекла от температуры. Характер изменения вязкости стекла при изменении температуры служит основой для определения температурных режимов варки, формования и термообработки.

На рис. I.2 представлена технологическая шкала вязкости. На этой шкале выделены примерные интервалы температур основных технологических процессов, интервалы изменения вязкости для отдельных способов формования стекломассы, положение характеристических температур. Температура размягчения соответствует вязкости $10^{6,6}$ Па·с.

Как известно, по характеру температурной зависимости вязкости стекла различного химического состава можно разделить на "длинные" и

"короткие". При одинаковых рабочих интервалах вязкости температурные интервалы формования для этих стекол будут различными: для "длинных" стекол – большими, для "коротких" – меньшими (рис. I.3).

Пусть рабочий интервал вязкостей для принятого способа формования равен $\eta_1 - \eta_2$. Температурный интервал формования стекла *1* больше, чем стекла *2*. При одной и той же температуре начала формования стекло *2* быстрее достигнет вязкости, соответствующей концу формования. Следовательно, стекло *2* "короче", чем стекло *1*, что выражается в более крутом ходе температурной зависимости вязкости. Примером "длинного" стекла может служить свинцовый хрусталь, примером "короткого" – тарное стекло.

Из всех физико-химических свойств стекла вязкость особенно сильно зависит от его химического состава. К оксидам, повышающим вязкость стекла, относят кремнезем, оксиды алюминия и циркония; к оксидам, понижающим вязкость, – оксиды натрия, калия, лития, свинца, бария. Часто, особенно при высоких температурах, понижает вязкость стекла оксид цинка. Оксид магния повышает вязкость стекла, но слабее, чем, например, оксид алюминия. Весьма сложно влияют на вязкость борный ангидрид и оксид кальция. Борный ангидрид значительно понижает вязкость стекла при высоких температурах; при низких температурах при введении приблизительно до 15% B_2O_3 вязкость стекол повышается и только при дальнейшем увеличении содержания B_2O_3 она уменьшается.

Оксид кальция при низких температурах повышает вязкость стекла; при высоких температурах небольшое его количество (до 8 – 10%) снижает вязкость стекла, при дальнейшем увеличении содержания оксида кальция вязкость стекла возрастает. При замене оксида кальция оксидом магния вязкость стекла при высоких температурах увеличивается.

Скорость твердения стекла характеризуется изменением вязкости во времени

$$v_{\text{тв}} = \frac{d\eta}{d\tau} = \frac{d\eta}{dt}\,\frac{dt}{d\tau},$$

где η – вязкость; t – температура; τ – время.

Таким образом, скорость твердения определяется изменением вязкости с температурой и изменением температуры со временем (т.е. скоростью охлаждения). Изменение вязкости при изменении температуры связано с химическим составом стекла: оксиды, повышающие вязкость, как правило, повышают и скорость твердения, и наоборот.

Скорость охлаждения стекла зависит как от физических свойств стекла, так и от условий охлаждения. На рис. I.4 представлены кривые твердения двух стекол, температурная зависимость вязкости которых изображена на рис. I.3 (условия охлаждения одинаковы). Из рис. I.4 видно, что время прохождения рабочего интервала вязкости различно. Для "короткого" стекла *2* это время меньше, чем для "длинного" стекла *1*.

При массовом производстве, особенно на машинах, стекло на разных стадиях процесса должно затвердевать с различной скоростью. При формовании выдувных изделий большая скорость твердения стекла ускоряет процесс, но зато она может привести к ухудшению качества изделия, к неравномерному распределению стекла в изделии.

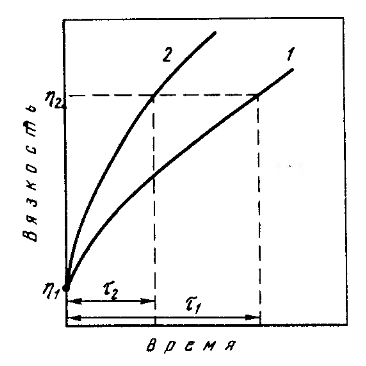


Рис. I.4. Твердение "длинных" (*1*) и "коротких" (*2*) стекол

При одинаковых условиях охлаждения на скорость твердения и равномерность охлаждения и твердения окрашенных стекол большое влияние оказывает теплопрозрачность (пропускание в инфракрасной области спектра). Чем меньше теплопрозрачность стекол, тем неравномернее они охлаждаются и твердеют: быстрее с поверхности и медленнее внутри. Это затрудняет формование изделий. Неравномерность твердения увеличивают такие окрашивающие оксиды, как FeO, CoO, NiO, которые значительно снижают теплопрозрачность стекломассы.

Поверхностное натяжение стекол. Поверхностное натяжение характеризует работу образования единицы площади поверхности раздела фаз при постоянной температуре. Единица измерения поверхностного натяжения Дж/м^2 или Н/м.

Поверхностное натяжение выступает как основной фактор при образовании новой фазы. Действие поверхностной энергии возрастает обратно пропорционально размерам участков новообразований (кристалликов, капель, пузырьков).

При образовании пузырей в стекломассе величина их зависит от поверхностного натяжения стекломассы на границе с газовой фазой. Вероятность растворения в стекломассе стекловидных включений (свилей) зависит от соотношения поверхностных натяжений расплава и свилей. Если поверхностное натяжение свилей больше поверхностного натяжения основного стекла (глиноземистые свили), то растворение свилей сильно затруднено. Если поверхностное натяжение свилей меньше (кремнеземистые свили), то они легко растворяются в основном расплаве.

Значительна роль поверхностных сил при расслоении (ликвации). Ликвация практически определяется соотношением между поверхностными натяжениями ликвирующих фаз. Примерами ликвации могут служить некоторые виды глушеных стекол, образование сульфатного щелока (расплава Na_2SO_4) при варке тарного стекла.

Поверхностное натяжение оказывает большое влияние на скорость разрушения огнеупоров стекловаренной печи. Проникание расплава в огнеупор увеличивается с уменьшением поверхностного натяжения. При этом улучшается смачивание огнеупора, увеличивается действие на них капиллярных сил.

Поверхностное натяжение является одним из факторов формообразования изделий. Влияние поверхностных сил на процесс формования воз-

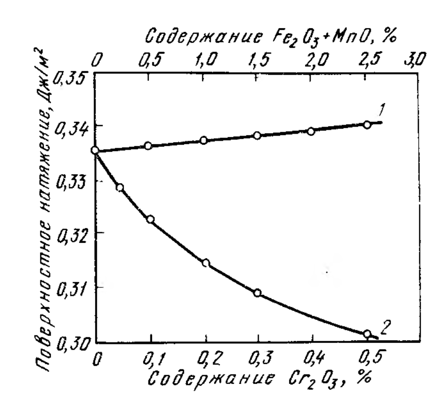


Рис. I.5 Влияние окрашивающих оксидов на поверхностное натяжение тарного стекла при температуре 1300° С:
1 – $Fe_2O_3 + MnO$; *2* – Cr_2O_3

растает с уменьшением вязкости стекла и размеров формуемых изделий или их частей. Поверхностное натяжение позволяет без применения формующих поверхностей получить баночку, т.е. толстостенный сферический пузырь из вязкой стекломассы. Это первичная заготовка для многих изделий, выдуваемых вручную с помощью стеклодувной трубки.

Поверхностное натяжение влияет также на такие процессы, как термическое полирование поверхности, оплавление края изделий. С действием поверхностного натяжения связаны явления смачивания, адсорбции, действия капиллярных сил.

Поверхностное натяжение расплавленных стекол при температуре 1000–1400° С составляет 0,2–0,38 Дж/м². Изменение поверхностного натяжения при изменении температуры незначительно (1–3% на каждые 100° С).

Основные оксиды, входящие в состав стекла, не оказывают существенного влияния на поверхностное натяжение. Следует отметить, что повышают поверхностное натяжение Al_2O_3, MgO, ZrO_2, понижают B_2O_3, PbO, P_2O_5. Существенно (до 30%) снижают поверхностное натяжение поверхностно-активные компоненты, к которым относятся V_2O_5, WO_3, MoO_3, As_2O_3, CrO_3 (Cr_2O_3). На поверхностное натяжение влияет газовая среда. Так, присутствие полярных газов SO_3, NH_3, паров воды снижает поверхностное натяжение стекла.

На рис. I.5 представлено изменение поверхностного натяжения тарного стекла от содержания в нем красителей, из которого видна поверхностная активность оксидов хрома (поверхностное натяжение стекла снижается довольно значительно при сравнительно малых добавках Cr_2O_3).

Кристаллизационные свойства стекол. Кристаллизационную способность промышленных стекол, т.е. те температурные пределы, внутри которых они могут закристаллизоваться, а также скорость этой кристаллизации необходимо знать, чтобы установить оптимальный режим варки стекла и выработки изделий.

Первые признаки кристаллизации стекла появляются на границе раздела фаз, вдоль свилей. Появление кристаллов первоначально на границе раздела фаз есть результат ориентирующего действия сил, существующих на этой границе. Силы ограничивают свободу движения отдельных частиц и тем самым способствуют образованию кристаллизационного центра.

Характер кристаллизации зависит от соотношения скорости образования центров кристаллизации, скорости роста кристаллов из этих центров и вязкости. Если скорость роста кристаллов достаточно большая, в стекле

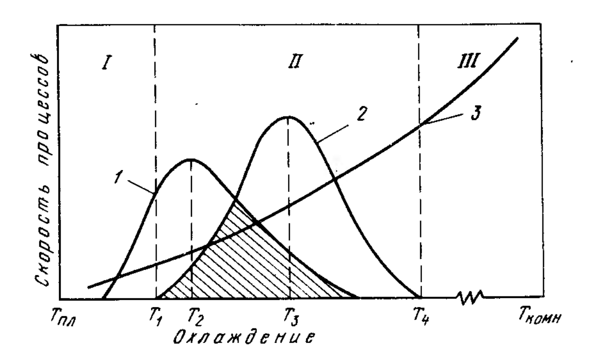


Рис. I.6. Зависимости линейной скорости роста кристаллов (*1*), скорости образования центров кристаллизации (*2*) и вязкости стекла (*3*) от степени переохлаждения:
I – метастабильная зона переохлаждения; *II* – зона кристаллизации; *III* – метастабильная зона высокой вязкости

будут расти одиночные кристаллы или кристаллические сферолиты. Наоборот, если линейная скорость роста кристаллов мала, а скорость образования кристаллизационных центров велика, то возможно образование в массе стекла множества мелких кристаллов. Вязкость стекломассы при этом не должна быть чрезмерно высокой.

На рис. I.6 приведены зависимости скоростей кристаллизации от степени переохлаждения. Ниже температуры плавления кристаллов находится метастабильная зона, где центры кристаллизации не образуются, но если бы они были, то могли бы расти. При температурах ниже метастабильной зоны кристаллизация зависит от скорости образования центров и скорости роста кристаллов. При дальнейшем охлаждении сильно нарастает вязкость, которая препятствует зарождению центров кристаллизации и росту кристаллов.

Чем дальше отстоят друг от друга максимумы скоростей, чем меньше скорость роста кристаллов и скорость образования центров кристаллизации, тем менее склонно стекло к кристаллизации. На рис. I.6 заштрихована область наиболее интенсивной кристаллизации. Слева от нее могут получаться крупные кристаллы, но в малом числе (по числу центров кристаллизации), справа – очень мелкие, но многочисленные кристаллы.

Кристаллизация стекломассы зависит в основном от следующих факторов: химического состава и вязкости стекла, вида применяемого сырья, взаимной растворимости отдельных компонентов, продолжительности выдерживания расплава при некоторых температурах и условий термической обработки стекломассы. Наиболее активно стекла кристаллизуются на границах двух фаз при температурах, соответствующих вязкости стекла $10^3 - 10^4$ Па·с.

Большинство промышленных стекол являются многокомпонентными. Влияние отдельных оксидов на кристаллизационную способность стекла изучено достаточно хорошо. Установлено, что замещение до 3% SiO_2 на Al_2O_3 в натрий-кальций-силикатном стекле, содержащем от 14 до 16% Na_2O, улучшает кристаллизационные свойства. При замещении до 5% CaO на MgO уменьшаются скорость кристаллизации и температура плавления кристаллов, а при замещении до 4% Na_2O на MgO снижается скорость роста кристаллов и повышается температура их плавления.

Часто в промышленных стеклах (натрий-кальций-силикатных) в качестве первой кристаллической фазы выделяются тридимит и кристобалит, реже – волластонит или девитрит. В первом случае для снижения скорости кристаллизации стекол следует уменьшить содержание кремнезема или добавить вместо кремнезема оксид алюминия. При выделении кристаллов силиката кальция необходимо снизить в стеклах содержание CaO. В стеклах, содержащих PbO или BaO, при кристаллизации выделяются кристобалит, силикаты свинца или бария. Фториды, как правило, повышают кристаллизационную способность стекол, легко кристаллизуются также фосфатные стекла. Для предотвращения кристаллизации стекол необходимо обеспечить быстрое прохождение температурного и вязкостного интервалов кристаллизации (1000–1200°C), ликвидацию застойных зон с опасной температурой, поддержание в выработочных устройствах температур, более высоких, чем температура кристаллизации. Методы определения кристаллизационной способности достаточно хорошо разработаны и могут быть успешно освоены на стекольных заводах.

Электрическая проводимость стекол. Электрическая проводимость стекломассы имеет решающее значение для электрической варки стекла. Электрическая проводимость стекломассы характеризуется удельной проводимостью, обратной по величине удельному электрическому сопротивлению: $\chi = 1/\rho$.

Единица измерения удельного электрического сопротивления Ом·м, удельной электрической проводимости $Ом^{-1}·м^{-1}$ или См/м. Удельное сопротивление и электрическая проводимость стекла резко изменяются с изменением температуры. При комнатной температуре удельное сопротивление натрий-кальций-силикатного стекла равно $10^{11}–10^{13}$ Ом·м, а в расплавленном состоянии (при температуре варки) оно снижается до 0,001–0,1 Ом·м. Удельное сопротивление расплавленных стекол при температурах варки, осветления и выработки определяет технологию электрической варки стекла, конструкцию и размеры электропечи, а также выбор электрооборудования.

Стекло является ионным проводником. Переносчиками электрического тока служат главным образом ионы щелочных металлов. В табл. I.1 приведены результаты экспериментального определения удельного электрического сопротивления промышленных тарных и сортовых стекол.

Удельное электрическое сопротивление снижается с ростом содержания щелочных оксидов, причем при увеличении оксида натрия оно снижается в большей степени, чем при увеличении оксида калия. Введение в состав стекла оксидов двухвалентных металлов повышает удельное электрическое сопротивление. Особенно большое влияние оказывают PbO, BaO, CaO. При одновременном присутствии в составе стекла двух оксидов щелочных металлов, например Na_2O и K_2O, удельное электрическое сопротивление повышается по сравнению с удельным электрическим сопротивлением стекол, содержащих только один щелочной оксид (эффект двух щелочей).

Плотность стекол. Плотность характеризует количественное содержание массы вещества в единице объема. Плотность стекол в основном

Таблица I.1. **Удельное электрическое сопротивление промышленных стекол**

Бутылочное зеленое стекло				Свинцовый хрусталь				Бессвинцовое сортовое стекло			
Оксид	Содержание, %	t, °C	ρ, Ом·м	Оксид	Содержание, %	t, °C	ρ, Ом·м	Оксид	Содержание, %	t, °C	ρ, Ом·м
SiO_2	70,7	1000	0,152	SiO_2	57	900	0,56	SiO_2	74	900	0,416
Al_2O_3	4	1120	0,09	PbO	24	1000	0,27	CaO	6	1000	0,142
Fe_2O_3	0,65	1220	0,066	Na_2O	1	1100	0,135	MgO	2	1100	0,055
CaO	6,5	1300	0,0526	K_2O	16	1200	0,095	B_2O_3	2	1200	0,03
MgO	3,5	1350	0,0476	ZnO	1	1300	0,064	K_2O	5	1300	0,019
		1400	0,0433	B_2O_3	1	1380	0,05	Na_2O	11	1380	0,014
Na_2O	14,5	1450	0,039			1430	0,044			1430	0,012
Cr_2O_3	0,15										

зависит от их состава и в меньшей мере от теплового прошлого. Плотность тарных и сортовых стекол, $кг/м^3$, дана ниже.

Бесцветные и цветные натрий-кальций-силикатные	2480–2530
Свинцовые хрустали с содержанием PbO, %	
4–12	2400–2700
12–30	2700–3200
Бариевые хрустали с содержанием 20% BaO	2700–2800

При повышении температуры от 20 до 1300°C плотность большинства технических стекол уменьшается на 6–12%. Плотность закаленных стекол на 80–90 $кг/м^3$ ниже, чем плотность нормально отожженного стекла того же состава.

Плотность стекла чувствительна к изменениям химического состава. В связи с этим на стекольных заводах, особенно с высокоскоростной механизированной выработкой изделий, рекомендуется проводить систематический анализ плотности стекла во времени и сопоставлять полученные данные с колебаниями состава стекла, скоростью работы машин, качеством изделий и другими показателями. Это позволяет принять оперативные меры по ликвидации тех или иных нарушений технологического процесса.

Однородность стекол характеризует степень постоянства плотности и, следовательно, химического состава стекла в различных точках образца или изделия. Однородность важна для анализа правильности ведения технологического процесса. Наиболее распространенным методом определения однородности является метод разделения порошка по плотности. Однородность оценивают в градусах Цельсия (температурный интервал между началом и концом всплывания частиц стеклянного порошка в жидкости при центрифугировании). Однородность тарных и сортовых стекол считается нормальной, если ее значение не превышает 3,5°C.

Теплофизические свойства и характеристики стекол. Теплофизические свойства имеют большое значение как при варке стекла и выработке изделий, так и при их эксплуатации.

Теплоемкостью тела или системы тел называют количество тепла, затрачиваемое на повышение температуры тела или системы тел на один градус в определенном термодинамическом процессе (при постоянном объеме, давлении и т.д.). Удельной теплоемкостью называют теплоемкость, отнесенную к единице массы.

Единица измерения удельной теплоемкости Дж/(кг·°С).

С повышением температуры удельная теплоемкость возрастает, причем тем медленнее, чем выше температура. Для области стеклования характерно большее изменение теплоемкости при изменении температуры. Теплоемкость зависит от химического состава стекла. SiO_2, Al_2O_3, B_2O_3, MgO, Na_2O и особенно Li_2O повышают теплоемкость стекла; оксиды тяжелых металлов PbO, BaO значительно снижают теплоемкость. Влияние других оксидов выражено слабее.

Теплопроводность характеризует способность тела передавать тепловую энергию в направлении более низких температур.

Единица измерения теплопроводности Вт/(м·°С).

Увеличение в стекле количеств SiO_2, Al_2O_3, B_2O_3, Fe_2O_3 повышает теплопроводность, а BaO и PbO снижают ее.

Теплопроводность тарных и сортовых стекол составляет 0,72 – 0,9 Вт/(м·°С).

При высоких температурах передача тепла теплопроводностью характерна только для тонких (до 0,1 см) слоев стекла. При увеличении толщины слоя увеличивается интенсивность передачи тепла благодаря излучению. В связи с этим теплопроводность, определенная без учета толщины образца, называется **эффективной теплопроводностью** и включает в себя радиационную (лучистую) составляющую.

Для технологических процессов варки стекла и формования изделий основное значение имеет прозрачность стекол для излучения в инфракрасной области спектра (теплопрозрачность). Теплопрозрачность уменьшают окрашивающие оксиды (особенно CoO, NiO, FeO и CuO). С повышением содержания в стекле этих оксидов роль теплопередачи излучением уменьшается и возрастает роль теплопроводности.

Термическое расширение стекла характеризуется обычно температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) α. Температурный коэффициент линейного расширения характеризует относительное увеличение длины образца стекла при нагревании на один градус.

Температурный коэффициент линейного расширения зависит от химического состава стекла. Наименьшим температурным коэффициентом линейного расширения обладает кварцевое стекло (SiO_2). Ввод остальных компонентов увеличивает ТКЛР. Особенно сильно в этом отношении влияние Na_2O, K_2O, CaO, BaO, PbO.

Наиболее распространены дилатометрические методы определения ТКЛР. Дилатометры фиксируют удлинение образцов при нагревании в определенном интервале температур.

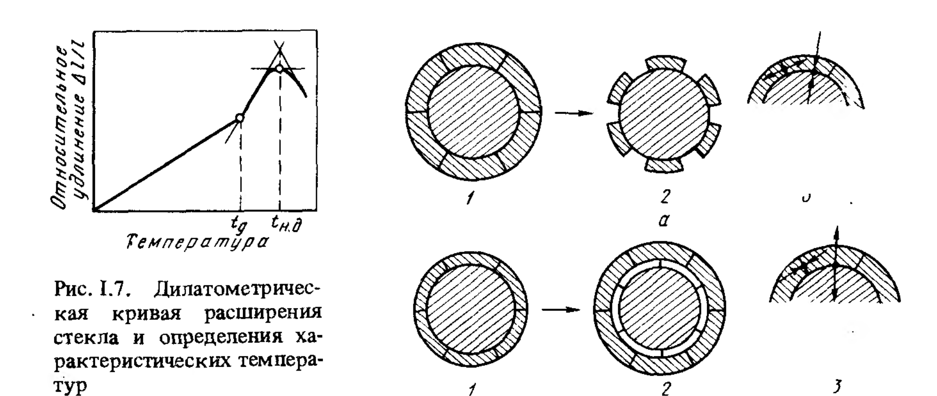


Рис. I.7. Дилатометрическая кривая расширения стекла и определения характеристических температур

Рис. I.8. Схемы процессов быстрого охлаждения (*а*) и быстрого нагревания (*б*) стекла (стрелки показывают направление действия возникающих напряжений)

Температурный коэффициент линейного расширения различных стекол находится в пределах (5–120) 10^{-7} 1/°С. Относительное увеличение объема при нагревании тела на 1°С называется **температурным коэффициентом объемного расширения**. Для твердых тел температурный коэффициент объемного расширения с достаточным приближением может быть принят равным $\beta = 3\alpha$.

При определении температурного коэффициента линейного расширения обычно строят график зависимости удлинения образца от температуры (дилатометрическую кривую), по которой можно приближенно установить некоторые характеристические температуры для данного стекла (рис. I.7). Каждой из этих температур соответствует определенная вязкость.

Температура начала стеклования T_g соответствует вязкости 10^{12} Па·с и определяется как точка пересечения прямых, продолжающих прямолинейные участки дилатометрической кривой.

Температура начала деформации соответствует температуре максимума на дилатометрической кривой и вязкости $10^{10} - 10^{11}$ Па · с.

Термостойкостью называется способность стекла сопротивляться резким изменениям температуры. Мерой термостойкости является температурный перепад, который выдерживает стекло без разрушения. Термостойкость имеет большое значение при использовании стеклотары (бутылок, банок) и сортовой посуды (стаканов).

Механизм разрушения стекла в результате быстрой смены температур можно представить себе следующим образом (резкое изменение температур относится к упругому состоянию стекла, когда возникают временные напряжения, исчезающие при выравнивании температуры стекла). Пусть имеется стеклянный шар, который мысленно можно разделить на ядро и внешний слой. Последний в свою очередь разделен на секторы (рис. I.8, *а*). Если шар нагрет (положение *1*), все его части имеют одинаковую температуру, поэтому напряжения внутри шара нет. При резком охлаждении внешний слой будет остывать значительно быстрее, чем ядро, поэтому

объем шара уменьшается неравномерно. Если бы секторы внешнего слоя не были связаны между собой, то каждый из них сжался бы, а между ними образовались свободные пространства (положение *2*). Но так как частицы стекла во внешнем слое связаны, между ними возникают напряжения растяжения (положение *3*), которые могут довести внешний слой до разрушения, т.е. до образования радиальных трещин, идущих от поверхности. Между внешним слоем и ядром будут создаваться напряжения сжатия, так как ядро противодействует сжатию внешнего слоя под действием более резкого охлаждения последнего.

При резком нагревании (рис. I.8, *б*) (положение *1*) внешний слой, нагреваясь быстрее ядра, стремится увеличиться в объеме и отслоиться от ядра (положение *2*). Но так как он связан с ядром, то между ними возникают напряжения растяжения. Между частицами внешнего слоя, которые не могут оторваться от ядра, но увеличиваются в объеме, возникают напряжения сжатия (положение *3*).

Если принять во внимание, что стекло сопротивляется растяжению во много раз хуже, чем сжатию,.а прочность стекла сильно зависит от состояния поверхности и резкий тепловой удар получает всегда поверхность стекла, то для стекла более опасно быстрое охлаждение, чем нагревание.

Термостойкость стекла зависит главным образом от температурного коэффициента линейного расширения, модуля упругости, предела прочности при растяжении, состояния поверхности стекла и степени его однородности. Сколы, царапины, трещины, неоднородность состава и плохой отжиг – все это резко снижает термостойкость стекла.

В основном термостойкость стекла определяется температурным коэффициентом линейного расширения: чем он меньше, тем выше термостойкость.

Плохая теплопроводность способствует неравномерному распределению напряжений по сечению охлаждающегося стекла при термическом воздействии, поэтому чем тоньше и равномернее по сечению стенки изделия, тем выше его термостойкость. Именно этими факторами обеспечивается высокая термостойкость термосных колб.

Оптические свойства и **характеристики стекол**. Луч света при переходе из одной среды в другую меняет свое направление, что связано с изменением скорости распространения света в различных средах. При прохождении в воздухе и через плоскопараллельную стеклянную пластинку (рис. I.9) падающий луч образует определенные углы с нормалью к поверхности раздела сред в точке падения. Если луч идет из воздуха в стекло, то угол α будет углом падения, а угол β – углом преломления. На рис. I.9 угол α больше угла β, потому что скорость распространения световых волн в воздухе больше, чем в стекле. В данном случае воздух является оптически менее плотной средой, чем стекло. **Показатель преломления** может быть определен из соотношения

$$n = \sin\alpha / \sin\beta.$$

Показатель преломления среды не зависит от угла падения луча на поверхность среды, но зависит от свойств самой среды и длины волны падающего света. Чем больше длина волны падающего света, тем меньше

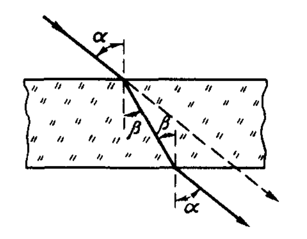
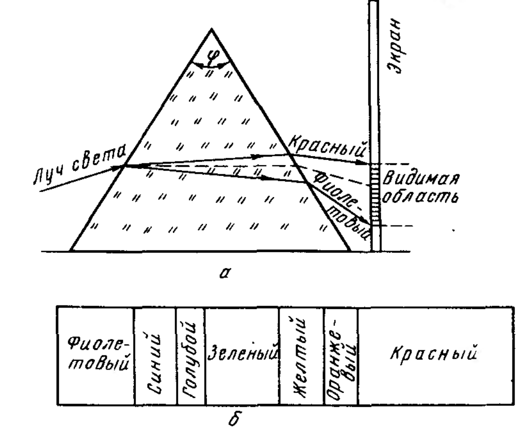


Рис. I.9. Прохождение светового луча через плоскопараллельную стеклянную пластинку



Фиолетовый	Синий	Голубой	Зеленый	Желтый	Оранжевый	Красный

б

Рис. I.10. Разложение белого спектра призмой (*а*) и диапазон цветов видимой части спектра (*б*)

показатель преломления, поэтому луч белого (смешанного) света, входя в стекло под углом к поверхности, расщепляется на пучок расходящихся цветовых лучей, т.е. подвергается **дисперсии**.

Если параллельный пучок белого света, ограниченный узкой щелью, падает на стеклянную призму, то на экране, расположенном за призмой, обнаруживается картина различных цветов, называемая спектром (рис. I.10, *а*). В спектре наблюдается строгая последовательность этих цветов, переходящих от одного к другому, начиная от фиолетового и кончая красным (рис. I.10, *б*).. Причиной разложения света является зависимость показателя преломления от длины волны. Чем короче длина волны, тем меньше угол преломления, поэтому фиолетовые лучи преломляются больше, чем красные.

Показатель преломления и дисперсия сильно зависят от состава стекла. Показатель преломления повышают PbO, BaO, CaO, ZnO, Sb_2O_3, щелочные оксиды. Добавка SiO_2 снижает показатель преломления. Дисперсия заметно возрастает при введении PbO и Sb_2O_3. BaO и CaO сильнее влияют на показатель преломления, чем на дисперсию.

Для производства высокохудожественных изделий сортовой посуды, подвергающихся декоративному шлифованию, используют в основном стекло, содержащее до 30% PbO. Такие стекла дают хорошую "игру света" в гранях за счет сильного влияния PbO как на показатель преломления, так и на дисперсию. Зависимость показателя преломления от содержания PbO при введении его вместо SiO_2 в промышленные составы хрусталей можно считать прямо пропорциональной.

Коэффициент отражения – отношение светового потока, отраженного стеклом, к световому потоку, падающему на него. Количество света, отраженного стеклом, тем больше, чем больше угол его падения. Количество отраженного от поверхности стекла света составляет около 4%. Коэффициент отражения зависит от состояния поверхности и наличия на ней различных веществ.

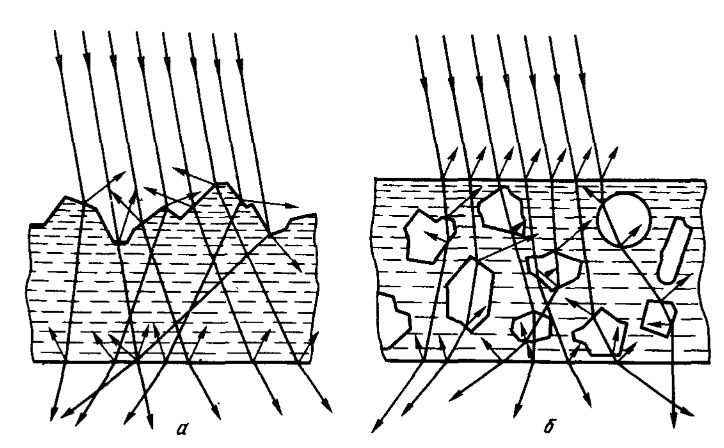


Рис. I.11. Схема рассеяния света стеклом:
а – матовым; *б* – глушеным

Явление **рассеяния света** относится к непрозрачным стеклам. В обычном прозрачном стекле рассеяния света практически не происходит. Пучок лучей света, направленный на матовую поверхность, выходит с другой стороны разбитым на множество направлений вследствие неодинакового преломления отдельных лучей на неровной (матовой) поверхности стекла (рис. I.11, *а*).

В глушеных стеклах находятся угловатые или сферические частицы глушителей, отличающиеся показателем преломления от основной массы стекла (рис. I.11, *б*). Лучи света, падающие на стекло, претерпевают многократное преломление и отражение, что и вызывает рассеяние света. Размеры частиц глушителей в стекле составляют 0,2–10 мкм. С увеличением размера частиц рассеяние света стеклом возрастает.

Относительная прозрачность, или **пропускание**, T стеклом видимого света и невидимых лучей (инфракрасных, ультрафиолетовых, рентгеновских, γ-лучей) подчиняется общему закону Бугера–Ламберта–Бера.

$$T = I/I_0 = e^{-Kl} = 10^{-kl},$$

где I – интенсивность излучения, прошедшего через образец; I_0 – интенсивность излучения, входящего в образец; e – основание натуральных логарифмов; K – натуральный показатель поглощения; l – толщина образца; k – десятичный показатель поглощения ($k = 0{,}434K$).

Относительное поглощение, или абсорбция, лучей связано с пропусканием зависимостью $A = I - T$. Относительное пропускание T или поглощение A обычно выражают в процентах. Мерой способности стекла поглощать излучение может также служить оптическая плотность D:

$$D = \lg 1/T = -\lg T = 0{,}434Kl = kl.$$

Для окрашенных стекол степень поглощения света прямо пропорциональна концентрации C красителя и коэффициенту ϵ, характеризующему удельное поглощение данного красителя: $k = \epsilon C$. Для выражения избирательного поглощения окрашенных стекол строят кривые зависимости T,

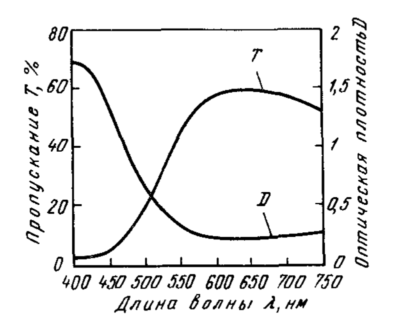


Рис. I.12. Зависимость светопропускания T и оптической плотности D коричневого тарного стекла от длины волны

A, D, K и k от длины волны (рис. I.12). Любая из этих зависимостей может служить спектральной количественной характеристикой цветных стекол. Величины T и A часто относят к единице толщины стекла (T/l и A/l). Кривые пропускания и оптической плотности являются обратными, но в то же время не являются точным, зеркальным, отражением друг друга.

Пропускание и поглощение стекол оценивают на спектрофотометрах с применением плоскопараллельных образцов стекла. Эта оценка имеет важное значение в производстве окрашенных стекол. Показатели пропускания (поглощения) в видимой области спектра важны для оценки цвета сортовых, сигнальных и других окрашенных стекол. Показатели пропускания (поглощения) в инфракрасной области спектра важны для варки стекла и формования изделий (теплопрозрачность стекол), а в ультрафиолетовой области спектра – для эксплуатационных свойств стекол (изделия из увиолевого стекла должны пропускать ультрафиолетовые лучи, а тарные стекла – задерживать их для сохранности содержимого тарных изделий).

При неравномерном охлаждении или нагревании в стекле возникают внутренние напряжения, вызывающие **двойное лучепреломление**. Стекло уподобляется двупреломляющему кристаллу, например, кварца, слюды, гипса и т.п. Луч, входящий в образец стекла, разлагается на два луча – обыкновенный и необыкновенный. Плоскости поляризации этих лучей взаимно перпендикулярны, а скорости распространения в стеклообразной среде различны. Двойное лучепреломление измеряется разностью хода обыкновенного и необыкновенного лучей, нм, на 1 см пути луча в стекле. Для контроля двойного лучепреломления в образцах любой формы наиболее удобны полярископы-поляриметры ПКС-250, ПКС-125. Принцип действия приборов основан на наблюдении двойного лучепреломления в исследуемом образце при интерференции лучей.

Механические свойства и характеристики стекол. Важнейшими механическими свойствами стекла являются упругость, твердость, хрупкость и прочность. Единица измерения механических свойств – Па.

Упругие свойства стекла характеризуются модулем упругости E, модулем сдвига G и коэффициентом Пуассона μ, которые связаны между собой соотношением

$$E/G = 2(1 + \mu).$$

Под **упругостью** подразумевают способность тела возвращаться к своей первоначальной форме после устранения усилий, вызвавших деформацию. В зависимости от химического состава модуль упругости стекол колеблется в пределах $(48–83)\,10^3$ МПа. Модуль упругости несколько повышается при замене SiO_2 на CaO, B_2O_3, Al_2O_3, MgO, BaO, ZnO, PbO.

По данным ряда авторов, особенно сильно влияние CaO, B_2O_3 (до 12%), Al_2O_3.

Коэффициент Пуассона равен отношению поперечной и продольной деформации тела. Для стекол разных составов этот коэффициент равен 0,11–0,3.

Модуль сдвига определяет способность стекла сопротивляться деформации сдвига или скола и равен отношению касательного напряжения к углу сдвига. Модуль сдвига для стекла составляет $(2-4,5)\,10^4$ МПа.

Твердость – одна из основных характеристик любого материала, в том числе и стекла; имеет большое значение для механической обработки. Кроме того, твердость стекла определяет его устойчивость к абразивному повреждению при эксплуатации.

Существует несколько способов определения твердости стекла. Наиболее распространены способы внедрения, шлифования и царапания.

Твердость стекла зависит от его химического состава. Наиболее мягкими являются свинцовые стекла, наиболее твердыми – кварцевые, а также некоторые боросиликатные с содержанием B_2O_3 до 10–12%.

Микротвердость стекла обычно оценивается на приборе путем вдавливания в стекло под нагрузкой алмазной пирамиды. Микротвердость различных стекол составляет 400–1200 МПа.

Прочность – это сопротивление стекла механическому разрушению. В зависимости от разрушающих усилий различают предел прочности при растяжении, сжатии, изгибе, ударе и вдавливании. Стекло обладает сравнительно высоким пределом прочности при сжатии и низким – при ударе. Прочность стекла зависит от состояния его поверхности, химического состава, степени отжига, однородности, состава и температуры окружающей среды. Предел прочности массивного стекла при растяжении или изгибе в зависимости от состава и состояния поверхности составляет 25–100 МПа, при сжатии – 500–800 МПа, при ударном изгибе – 15–20 МПа. В то же время теоретическая прочность стекол намного превышает эти значения. Основной причиной такого резкого различия теоретической и реальной прочности стекла является наличие трещин, царапин и неоднородностей на его поверхности и в объеме.

Решающее влияние на прочность реальных стекол оказывает состояние поверхности и наличие на ней дефектов. Так как при изготовлении стеклоизделий невозможно сохранить их поверхность в бездефектном состоянии, прочность вне зависимости от химического состава имеет низкую величину и путем изменения химического состава существенно повысить ее не удается. Прочность стекла увеличивают SiO_2, Al_2O_3, B_2O_3, MgO, BaO, TiO_2, уменьшают щелочные оксиды, PbO.

Прочность стекла зависит от степени отжига. С увеличением остаточных напряжений в стекле в 1,5–2 раза сопротивление изгибу уменьшается на 9–12%.

К способам существенного повышения прочности изделий относится воздушная закалка, ионообменное упрочнение в расплавах солей, нанесение на поверхность оксидно-металлических покрытий.

Хрупкость – типичное свойство стекла, разрушение которого не сопровождается пластической деформацией при различных способах механического нагружения, в том числе при динамическом и статическом. Хрупкое разрушение стекла под действием напряжений начинается с поверхности вследствие образования и роста микротрещин. Обычно мерой хрупкости считают сопротивление нагрузкам (удару). Предел прочности стекла при ударе характеризуется суммарной работой ударов, вызывающих разрушение единицы объема стекла. Предел прочности при ударе зависит от состояния поверхности, толщины образца, степени отжига и химического состава стекла. Из компонентов стекла в наибольшей степени повышает предел прочности при ударе B_2O_3; увеличение содержания MgO, SiO_2, Al_2O_3 уменьшает хрупкость на 5–20%. Остальные оксиды мало влияют на хрупкость стекол. Предел прочности при ударе закаленных стекол в 5–7 раз выше, чем отожженных. С повышением температуры предел прочности при ударе возрастает.

Химическая устойчивость стекла. Химической устойчивостью стекла называется его способность противостоять разрушающему действию воды, влаги, газов атмосферы, растворов солей и различных химических реагентов.

Стекло по сравнению с другими материалами отличается высокой химической устойчивостью, которая зависит от его химического состава и природы действующего реагента.

По характеру действия на стекло реагенты можно разделить на две группы. К первой группе относятся вода, атмосферная влага, растворы кислот (кроме плавиковой и фосфорной), нейтральные или кислые растворы солей, т.е. реагенты с pH, равным 7 и ниже. Ко второй группе относятся реагенты с pH среды выше 7, т.е. растворы щелочей, карбонатов и других компонентов. По механизму воздействия к этой группе относятся также плавиковая и фосфорная кислоты.

Природа химической устойчивости и сущность процессов, происходящих при разрушении стекла, подробно изучены И.В. Гребенщиковым. Он установил, что силикаты, находящиеся на поверхности стекла, вступая во взаимодействие с водой или влагой воздуха, гидролизуются, образуя щелочь и гель кремниевой кислоты. Щелочь вымывается с поверхности стекла, а гель кремниевой кислоты остается и образует защитную пленку. Кремниевая кислота замедляет процесс дальнейшего разрушения стекла. От толщины слоя защитной пленки и его плотности зависит скорость диффузии через этот слой молекул воды. Процесс разрушения стекла резко замедляется при толщине защитной кремнеземистой пленки более 50 нм.

Схему гидролиза щелочных силикатов поверхностного слоя стекла можно представить в следующем виде:

$$[-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-O-]_{\infty}-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-ONa+H_2O\rightarrow NaOH+[-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-O-]_{\infty}-OH.$$

Разрушение стекла возможно не только при его прямом смачивании, но и при неудовлетворительных условиях упаковки, хранения и транспортировки. Условия, способствующие конденсации влаги на поверхности стекла, являются неблагоприятными и приводят к его разрушению. Химическая устойчивость силикатных стекол к действию реагентов первой группы существенно зависит от их химического состава, в основном от

содержания в стекле кремнезема и щелочных оксидов. Введение в стекло кремнезема значительно повышает химическую устойчивость стекла, а введение щелочных оксидов, наоборот, значительно ее снижает. Калиево-натриевые стекла химически более устойчивы, чем чисто натриевые или чисто калиевые (эффект двух щелочей). Силикаты щелочноземельных металлов более химически устойчивы, чем силикаты щелочных металлов. Цинксодержащие стекла отличаются высокой химической устойчивостью, а свинецсодержащие стекла – низкой. Введение оксидов алюминия и бора эффективно повышает химическую устойчивость.

Изделия из тарного и сортового стекла в основном подвергаются действию реагентов первой группы, поэтому обычно определяют водоустойчивость стекол методом выщелачивания поверхности зерен под воздействием воды.

Водоустойчивость выражают в миллилитрах 0,01 н. раствора соляной кислоты, пошедшей на титрование выщелоченных компонентов. Для сравнительной оценки химической устойчивости промышленных стекол установлена следующая гидролитическая классификация (табл. I.2).

Таблица I.2. **Гидролитические классы водостойкости стекла**

Класс водостойкости	I	II	III	IV	V
Расход 0,01 н. раствора HCl на 1 г зерен стекла	До 0,1	0,1–0,2	0,2–0,85	0,85–2	2–3,5

В основном тарные и сортовые натрий-кальций-силикатные стекла относятся к III, калий-свинцово-силикатные – к III и IV гидролитическим классам.

Реагенты второй группы разрушают непосредственно кремнекислородный каркас стекла. В результате полностью удаляются поверхностные слои, причем скорость разрушения остается постоянной, а глубина разрушения пропорциональна времени действия раствора. Схему действия на стекло реагентов второй группы можно представить в следующем виде:

$$[-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-O-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-]_\infty-O-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-+NaOH\rightarrow[-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-O-\overset{|}{\underset{|}{Si}}-]_\infty-OH+Na_2SiO_3.$$

В результате воздействия щелочей на стекло образуются стабильные анионы типа SiO_3^{2-}, SiO_4^{4-}, $Si_2O_5^{2-}$ и соответствующие легкорастворимые силикаты щелочных металлов. Сила воздействия гидроксидов щелочных металлов при одинаковой нормальности уменьшается в ряду NaOH – –KOH–LiOH – NH_4OH. Растворы карбонатов натрия и калия оказывают более сильное разрушающее действие на стекло, чем растворы едких щелочей. Щелочеустойчивость стекол мало зависит от их состава.

При воздействии на стекло плавиковой кислоты разрушение стекла сопровождается образованием летучих фтористых соединений кремния. Плавиковая кислота обладает наибольшим разрушающим воздействием на стекло.

Химическая устойчивость стекол к реагентам второй группы значительно ниже, чем к реагентам первой группы. После действия реагентов второй группы поверхность стекла становится матовой, ухудшается прозрачность.

Глава II. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРИГОТОВЛЕНИЕ ШИХТЫ

§ 1. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Сырьевые материалы для производства стеклоизделий условно делят на две группы: **основные** и **вспомогательные**.

Основные материалы содержат оксиды, образующие основу стекла и определяющие его свойства. Вспомогательные материалы представляют собой вещества, которые вводятся для изменения характеристик стекла и ускорения процесса стекловарения (красители, обесцвечиватели, глушители, окислители и восстановители, ускорители варки). Сырьевые материалы могут быть также разделены на **природные** и **синтетические**. В стеклоделии в основном применяют природные материалы: кварцевый песок, известняки, доломиты, нефелины, полевые шпаты. Остальные материалы, как правило, синтетические: кальцинированная сода (карбонат натрия), поташ, свинцовый сурик и глет, красители и др. Качество сырьевых материалов (химический и гранулометрический составы, примеси и т.п.) регламентируются соответствующими государственными стандартами и техническими условиями, которые периодически пересматриваются и уточняются.

Основные материалы

Кремнеземсодержащие материалы. Основным материалом для ввода в стекло SiO_2 является кварцевый песок. Качество песков оценивают по их химическому и зерновому составу. Главное требование к пескам – максимальное содержание SiO_2 и минимальное содержание окрашивающих примесей. Для стекловарения применяют пески, содержащие не менее 95% кремнезема и регламентируемое количество окрашивающих примесей, среди которых наиболее распространенными являются оксиды железа. В песках могут содержаться также оксиды титана и хрома. В табл. II.1 приведен химический состав песков наиболее крупных месторождений.

В производстве различных видов обесцвеченной и полубелой стеклянной тары допускаемое содержание оксидов железа 0,05–0,3%. Для окрашенной стеклотары содержание оксидов железа обычно не нормируется и в связи с этим часто используют пески местных месторождений.

В производстве свинцового хрусталя применяют обогащенные кварцевые пески высшего сорта с содержанием оксидов железа 0,01–0,02%. Пески с повышенным содержанием примесей обогащают, чтобы получить содержание примесей в указанных количествах. Содержание в песках красящих примесей при производстве сортовых изделий не должно превышать, %: V_2O_5 0,05; TiO_2 0,05; Cr_2O_3 0,0001; сульфидов 0,01 – 0,001.

Таблица II.1. **Химический состав песков**

Месторождение	Содержание, %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O+ $+K_2O$	Потери при прокаливании
Егановское (Московская обл.)	98,6–99,5	–	0,092–0,13	0,076	–	–	–	–
Ташлинское (Ульяновская обл.)	99,3–99,7	0,16–0,4	0,02–0,15	Следы	0,06	0,03	0,14	0,1
Новоселовское (Харьковская обл.)	98–99,1	0,39	0,04–0,1	–	0,2	0,04	–	0,2
Авдеевское (Донецкая обл.)	96,5–98,1	0,27–1,7	0,11–0,53	Следы	0,28–0,76	0,04–0,14	0,2–0,3	–

При варке стекла важно учитывать размеры зерен песка, особенно количественное соотношение зерен по размерам. В производстве стеклянной тары и сортовой посуды рекомендуется применять кварцевые пески, в которых содержание фракций размером 0,1–0,5 мм составляет 85–90%. Для ускорения процесса стеклообразования необходимы мелкие пески с равномерным гранулометрическим составом. Для ускорения процесса варки лучше применять песок с зернами остроугольной формы, так как в этом случае увеличивается реакционная поверхность по сравнению с зернами сферической формы.

Для ввода SiO_2 можно также использовать природный кварц, содержащий незначительные количества примесей оксидов железа.

Глиноземсодержащие материалы. Добавка Al_2O_3 в натрий-кальций-силикатные стекла снижает термический коэффициент линейного расширения, повышает химическую устойчивость, улучшает механическую и термическую прочность. В производстве стеклотары для ввода Al_2O_3 обычно применяют многокомпонентные глиноземсодержащие материалы. В большинстве случаев для ввода Al_2O_3 используют концентраты полевошпатовых и нефелиновых горных пород.

В сортовые и высококачественные тарные стекла Al_2O_3 вводят чаще всего с техническим глиноземом и иногда с гидратом глинозема.

Борсодержащие материалы. Введение в состав стекла незначительного количества (до 2%) оксида бора значительно облегчает варку и осветление стекла, снижает температуру варки, улучшает физико-химические свойства стекла.

Оксид бора вводят с борной кислотой H_3BO_3, бурой $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ и боратом кальция. Массовое соотношение борного ангидрида и оксида кальция в борате кальция составляет 1,22–1,24.

Натрийсодержащие материалы. Основными материалами для ввода в стекло оксида натрия являются карбонат натрия, сульфат натрия и селитра (нитрат натрия). Карбонат натрия содержит 58,5% Na_2O и 41,5% CO_2, температура его плавления 854°С. Технический карбонат натрия для производства стекла должен содержать не менее 95% Na_2CO_3 и не более 1% NaCl. В производстве сортовой посуды содержание $Fe(OH)_3$ ограничивается 0,01–0,02%. Частичным заменителем карбоната натрия может служить сульфат натрия, который обычно применяют в производстве стеклянной тары. С Na_2SO_4 можно вводить до 30% общего количества щелочных оксидов. Температура плавления сульфата натрия 884°С. Разложение Na_2SO_4 происходит при температуре 1200–1220°С с большим трудом.

Оксид натрия частично можно ввести и с горными породами, используемыми для ввода других оксидов, например Al_2O_3 (нефелины, полевые шпаты, трахиты и т.п.).

Натриевую селитру применяют для ввода от 1 до 6% Na_2O. Роль натриевой селитры определяется ее окисляющим действием. Из-за более высокой стоимости селитры по сравнению со стоимостью другого натрийсодержащего сырья ее применение ограничено.

Калийсодержащие материалы. Оксид калия, введенный в натрий-кальций-силикатное стекло взамен оксида натрия, улучшает его оптические и выработочные свойства, химическую устойчивость, цветовые характеристики. Сырьем для ввода K_2O являются поташ (карбонат калия) и селитра. Для повышения качества стекла необходимо, чтобы содержание в поташе красящих примесей и сульфата калия было минимальным. Так, при варке свинцового хрусталя, когда вводят 12–15% K_2O с поташом, содержание оксидов железа в поташе не должно превышать 0,002–0,003%, оксидов хрома – 0,0005%, а сульфат калия вовсе недопустим.

Нитрат калия (селитру) применяют как окислитель для введения от 1 до 6% K_2O.

Кальцийсодержащие материалы. Оксид кальция, ускоряя реакции силикатообразования, облегчает варку и осветление стекла, улучшает выработочные свойства и повышает его химическую устойчивость. Оксид кальция вводится обычно с карбонатом кальция $CaCO_3$, содержащим 56% CaO и 44% CO_2. Из минералогических разновидностей карбоната кальция на стекольных заводах применяют известняк, мел, мрамор и известковый шпат. В этих минералах содержится до 90–98% $CaCO_3$, остальную часть составляют примеси (SiO_2, Al_2O_3, MgO, Fe_2O_3 и органические вещества). CaO вместе с MgO можно вводить с доломитом $CaCO_3 \cdot MgCO_3$.

При производстве сортовой посуды содержание оксидов железа в меле и доломите не должно быть более 0,04%. Однако некоторые месторождения мела, известняка и доломита характеризуются примесями оксида железа до 0,3%, что отражается на колере сортовых стекол.

В составы высококачественных стекол рекомендуется вводить оксид кальция с боратом кальция.

Магнийсодержащие материалы. Оксид магния улучшает кристаллизационные свойства стекла, снижает ТКЛР, повышает механическую прочность. В качестве сырья для введения в стекло обычно используют доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$. Природные доломиты всегда содержат примеси песка, глинозема и железа. Постоянство состава и минимальное содержание

вредных примесей (соединений железа) имеет важное значение для производства сортовой посуды и обесцвеченной стеклотары.

В качестве материалов для ввода MgO могут быть также применены (при условии постоянства состава) магнезит $MgCO_3$, доломитизированный известняк и др.

Стронцийсодержащие материалы. Оксид стронция при замене части щелочноземельных оксидов улучшает выработочные свойства и химическую устойчивость стекла. Можно вводить до 6% оксида стронция в стекло для обесцвеченных водочных бутылок, особенно малой вместимости. Оксид стронция можно ввести в стекло с карбонатом стронция $SrCO_3$ (стронцианитом) и сульфатом стронция $SrSO_4$ (целестином). Основное требование к этому сырью для производства обесцвеченной стеклотары – малое содержание оксидов железа.

Барийсодержащие материалы. При введении небольших количеств BaO ускоряется варка, улучшаются выработочные свойства, особенно при механизированном формовании. BaO улучшает их блеск, повышает показатель преломления и плотность. Для ввода в стекло оксида бария наиболее подходящим сырьем является карбонат бария $BaCO_3$ или минерал витерит (для стеклотары), могут также применяться нитраты и сульфаты. С карбонатом бария вводится 77,7% BaO, а с нитратом бария – 58,6% BaO.

Свинецсодержащие материалы. Оксид свинца является основным компонентом хрусталей и определяет их высокие оптические свойства.

Для введения в стекло PbO используют свинцовый сурик и свинцовый глет. При разложении сурика выделяется кислород, который осветляет стекломассу и поддерживает окислительную среду. Преимуществами использования свинцового сурика перед свинцовым глетом являются отсутствие примесей металлического свинца и минимальная возможность восстановления оксидов свинца.

Содержание красящих примесей в свинецсодержащем сырье должно быть минимальным: оксидов железа – не более 0,001%, соединений никеля, кобальта, меди – до 0,0001%.

Новым комплексным сырьем для ввода оксида свинца и кремнезема является силикат свинца с содержанием PbO 70–71%; SiO_2 20–21%. Силикат свинца представляет собой продукт промышленной переработки свинцовых кеков, содержание красящих примесей в нем превышает допустимые пределы. Материал может быть рекомендован для производства цветных стекол.

Цинксодержащие материалы. Добавка оксида цинка в стекло снижает термический коэффициент линейного расширения, увеличивает коэффициент преломления и химическую устойчивость. Оксид цинка является обязательным компонентом селенового рубинового стекла. Для введения в состав шихты оксида цинка используют цинковые белила (промышленное название оксида цинка).

Вспомогательные материалы

Красители и обесцвечиватели. Наибольшую группу вспомогательных материалов представляют красители, которые являются соединениями различных металлов и распределяются в стекле на ионном, молекулярном и коллоидном уровнях. Малые количества некоторых красителей служат физическими обесцвечивателями. Подробно красители и обесцвечиватели рассматриваются в гл. IV и VIII.

Глушители. Для глушения обычно применяют фториды и фосфаты. Соединения фтора могут быть введены с фторидом кальция CaF_2, кремнефторидом натрия Na_2SiF_6, криолитом $3NaF \cdot AlF_3$ и хиолитом $5NaF \cdot AlF_3$. Соединения фосфора применяют в виде костной муки, фосфата кальция $Ca_3(PO_4)_2$, гидрофосфата натрия $Na_2HPO_4 \cdot RH_2O$, апатита $Ca_4(CaF)(PO_4)_3$ или $Ca_4(CaCl) \cdot (PO_4)_3$. Учитывая, что соединения фтора загрязняют окружающую среду, за последние годы более широко стали применять глушение стекла соединениями фосфора. Заглушенность стекол также достигается за счет кристаллизации соединений (например, ZnS в группе глушеных сульфидноцинковых стекол), а также введения в сваренную стекломассу тугоплавких соединений (Al_2O_3, ZrO_2) или пузырьков газов N_2, O_2. Реже для глушения используют соединения олова (SnO, SnO_2, $SnCl_2 \cdot 2H_2O$), мышьяка (As_2O_3) и сурьмы (Sb_2O_3). Глушение может быть также достигнуто применением составов стекол, склонных к ликвации.

Окислители и восстановители. Применяют при варке стекла для создания окислительных или восстановительных условий. При производстве свинцового хрусталя необходимо создать окислительные условия для предотвращения восстановления оксидов свинца. Окислительная среда играет важную роль при обесцвечивании сортовых и тарных стекол, повышении теплопрозрачности стекла при механизированном производстве стеклотары.

В качестве окислителей применяют нитраты ($NaNO_3$, KNO_3), оксиды мышьяка, марганца, церия и др. При варке тарных стекол с сульфатом натрия восстановители вводят для ускорения разложения Na_2SO_4 и окрашивания в янтарный цвет. Восстановительные условия создают при варке медного рубина.

В качестве восстановителей используют углеродсодержащие вещества (опилки, уголь, мазут), соединения олова, виннокаменную соль.

Ускорители. Среди ускорителей варки стекла особое место занимают фториды, которые способствуют появлению жидкой фазы при более низких температурах и увеличивают скорость процесса силикатообразования. Фториды снижают температуру завершения реакций силикатообразования на 100–200°С. Считается, что добавка 0,5–1% F ускоряет процессы гомогенизации и осветления стекла на 15–18%. В качестве ускорителя варки обычно применяют кремнефторид натрия Na_2SiF_6.

Однако фториды разрушают огнеупорный материал стекловаренных печей. При содержании более 1,5% они усиливают кристаллизацию стекломассы и вследствие сильной летучести вместе с дымовыми газами поступают в окружающую среду. Следовательно, применение фторидов требует правильной оценки экономических факторов и факторов охраны окружающей среды.

Ввод 1,5% B_2O_3, гидроксида натрия и калия, окислителей ускоряет процесс варки на 15–16%.

К числу ускорителей варки можно также отнести осветлители, которые

при высоких температурах способствуют освобождению стекломассы от крупных и мелких пузырей.

Некоторые основные компоненты шихты (например, сульфат натрия, селитра) являются осветлителями. Другие осветлители (например, оксиды мышьяка, сурьмы, церия, хлорид натрия, фториды) вводят в состав шихты специально. Для бесцветных сортовых стекол сульфат натрия не является основным компонентом шихты. Небольшие добавки его (до 0,5%) специально вводят в состав шихты для улучшения осветления стекломассы. В зависимости от состава стекла и съемов стекломассы вводят 0,05–0,5% оксидов мышьяка и сурьмы. Хлорид натрия вводят в шихту в количестве 0,5–1%. В качестве ускорителей применяют также соли аммония в количестве 0,25–1% массы шихты: нитраты NH_4NO_3, сульфаты $(NH_4)_2SO_4$, хлориды NH_4Cl.

Комплексные недефицитные материалы

К комплексным недефицитным материалам относятся различные горные породы, стекольный бой, отходы металлургического и обогатительного производства.

Горные породы (нефелиновые сиениты, трахиты, перлиты, полевые шпаты, пегматиты) можно использовать в производстве стеклянной тары для ввода в шихту отдельных оксидов и в качестве частичных заменителей карбоната и сульфата натрия.

Существенными недостатками указанных горных пород являются непостоянство их химического состава и содержание довольно большого количества оксидов железа. Поэтому при выборе той или иной горной породы для промышленного использования существенное значение приобретают методы усреднения состава, химического анализа.

Для **нефелиновых сиенитов** характерно значительное содержание Al_2O_3 и щелочных оксидов. В производстве стеклянной тары обычно применяют нефелиновый концентрат, являющийся продуктом обогащения горной породы и характеризующийся сравнительно постоянным химическим и зерновым составами. Химический состав концентрата, %: SiO_2 42–45; Al_2O_3 28–35; NaO + K_2O 17–19; CaO 1,2–2,5; Fe_2O_3 3–3,5; P_2O_5 0,2–0,3.

Полевые шпаты бывают калиевые – ортоклазы $K[AlSi_3O_8]$, натриевые – альбиты $Na[AlSi_3O_8]$, калиево-натриевые – микроклины (K, Na) $[AlSi_3O_8]$, кальциевые – анортиты $Ca[Al_2Si_2O_8]$. Помимо основных компонентов полевые шпаты обычно содержат различные примеси. Путем обогащения отходов гравитации полевых шпатов получают кондиционный полевошпатовый концентрат. Примерный состав концентрата, %: SiO_2 65–68; Al_2O_3 18,3–21,6; Na_2O – 7,65; K_2O 4–8; Fe_2O_3 0,6; MgO 0,01.

Пегматиты – природная смесь 75% полевого шпата н 25% кварца. На стекольных заводах применяют обогащенный пегматит. Состав карельского пегматита, %: SiO_2 72–79; Al_2O_3 13–19; Fe_2O_3 0,1–0,6; CaO 1,07–1,14; MgO – 0,3–0,4; $Na_2O + K_2O$ 6–7.

Таблица II.2. **Химический состав отходов производств**

Вид отхода	Содержание компонента, %								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Cr_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	SO_3	Потери при прокаливании
Шлак металлургический доменный	35–38	12–15	0,5–1,5		40–43	6–10	–	–	–
феррохромовый	25–30	5–10	0,2–0,4	5–15	48–54	5–15	–	–	–
Фосфогипс (в производстве удобрений)	15,33	0,56	0,41	–	28,4	–	3,37	34,7	17,24
Борогипс (в производстве борных соединений)	25,8	1,3	2	–	27,6	0,18	–	34,8	6,66
Отработанный катализатор (в производстве каучука)	5–15	70–85	–	10–20	–	–	–	2,5 K_2O	–
Электрохимической обработки алюминиевых сплавов	0,78	41,4	0,2	–	0,45	2,14	10,4 Na_2O	–	44,9

Примечание. В состав доменного шлака входит еще 0,6–2,5%S^{-2}; в борогипс – 1,66% B_2O_3.

Каолины $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (Al_2O_3 39,5%; SiO_2 46,5%; H_2O 14%) содержат различные примеси, в стекольной промышленности их применяют после обогащения. В производстве стеклянной тары можно использовать отходы, получаемые при обогащении полезных ископаемых, а также отходы металлургического, химического и других производств (табл. II.2).

Значительный интерес представляют щелочные отходы капролактамового производства, имеющие химический состав, %: Na_2CO_3 62,32; Na_2SO_4 25,68; NaCl 11; NaOH 1.

Для облегчения процесса варки стекла и экономии материальных ресурсов в стекловаренные печи загружают 20–50% стекольного боя. Стекольный бой применяют также при наварке бассейна печи после холодного ремонта или окончания ее строительства. Загружаемый в печь стекольный бой должен быть чистым, свободным от загрязняющих примесей и по возможности с кусками одинаковых размеров. Целесообразно использовать бой одинакового состава с применяемым стеклом. Это условие соблюдается в производстве сортовой посуды, где получается значительное количество отходов после отделения колпачка. Однако в производстве стеклянной тары, особенно окрашенной, иногда вводят бой стекол различного химического состава и цвета, часто загрязненный минеральными и металлическими включениями. Такой бой ухудшает технологические и экономические показатели производства, снижает эксплуатационные свойства стеклянной тары.

§ 2. ПОДГОТОВКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сырьевые материалы для приготовления шихты должны быть соответствующим образом подготовлены. Подготовка сырьевых материалов предусматривает измельчение, растаривание, разрыхление, сушку, сортирование и обогащение.

Измельчение. Сырьевые материалы для приготовления шихты могут измельчаться следующими способами (рис. II.1): ударом в шаровых и аэробильных мельницах, молотковых дробилках; раздавливанием в щековых дробилках и на бегунах; раскалыванием в валково-зубчатых дробилках; истиранием на бегунах, в шаровых мельницах.

Эти способы можно применять в различных сочетаниях, например раздавливание и истирание – на бегунах, удар и истирание – в шаровых мельницах.

Для грубого измельчения доломита, известняка и других материалов чаще всего используют щековые дробилки, а для измельчения стекольного боя – валковые дробилки. Для тонкого измельчения служат бегу-

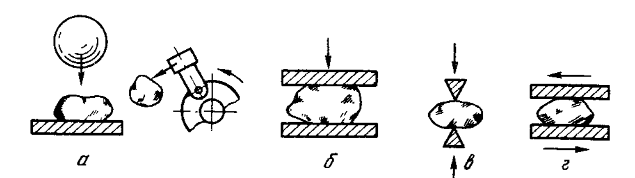


Рис. II.1. Способы измельчения материалов: *а* – ударом; *б* – раздавливанием; *в* – раскалыванием; *г* – истиранием

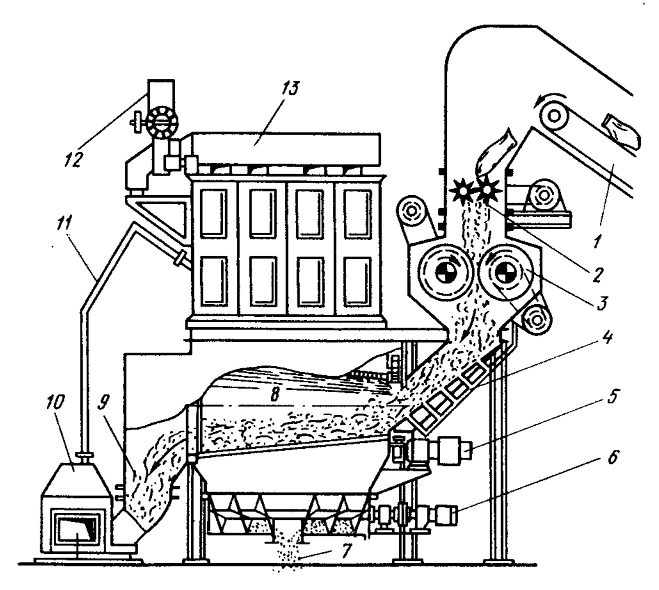


Рис. II.2. Схема установки для растаривания мешков:
1 – ленточный конвейер; *2* – устройство для разрывания мешков; *3* – валковое устройство; *4* – спускной желоб; *5*, *6* – электродвигатели приводов барабанного грохота и винтового конвейера; *7* – просеянный материал; *8* – барабанный грохот; *9* – клочья бумаги; *10* – устройство для прессования тюков бумаги; *11* – воздуховод; *12* – очищенный воздух; *13* – вытяжной фильтр с вентилятором

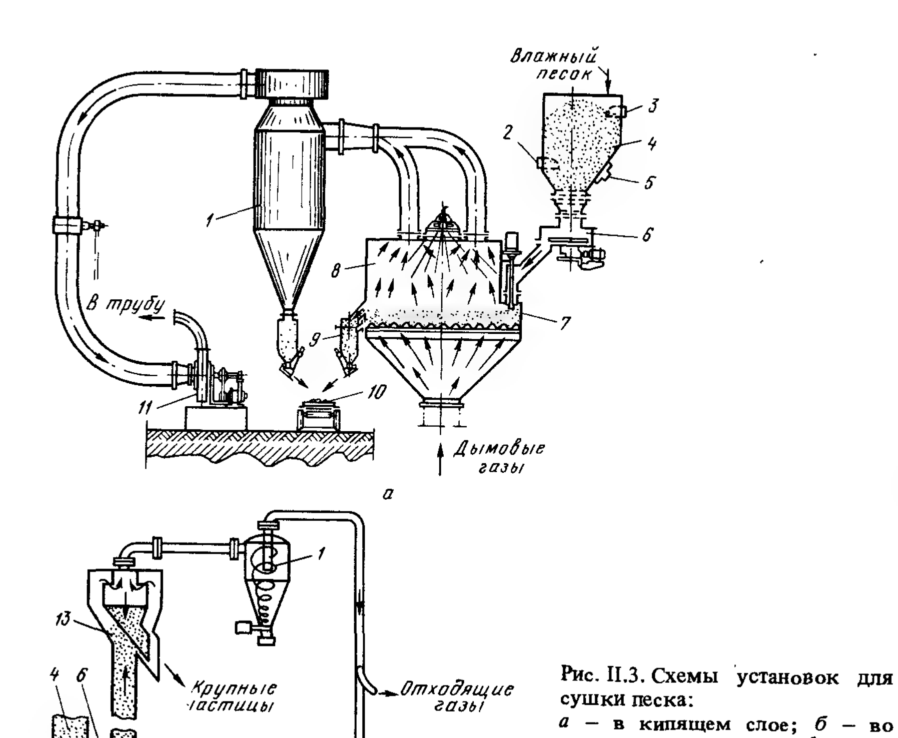
ны, молотковые, шаровые, аэробильные и вибрационные мельницы, дезинтеграторы.

Разрыхление и растаривание. На стекольных заводах имеются также машины для разрыхления не имеющих твердых включений слежавшихся и скомковавшихся материалов (карбоната натрия, селитры, поташа). К ним относятся дезинтеграторы и протирочные машины. Например, карбонат натрия поступает на стекольные заводы в мешках. В связи с этим важное значение имеет механизация процесса растаривания мешков с одновременным разрыхлением материала при минимальных потерях сырья и отсутствии пыли (рис. II.2).

Сушка. На стекольных заводах обычно сушат песок, мел, известняк, доломит, сульфат натрия. Температура сушки песка 700–800°С, мела, известняка и доломита – не более 400°С, так как при более высоких температурах начинается их термическая диссоциация.

Чаще всего на стекольных заводах для сушки сырьевых материалов используют прямоточный сушильный барабан. Песок можно эффективно сушить в кипящем слое и во взвешенном состоянии (рис. II.3). В первом случае горячий воздух или отходящие дымовые газы проходят под напором через отверстия в поде и создают кипящий слой. Высота кипящего слоя определяется расположением ссыпного отверстия. При сушке во взвешенном состоянии поток горячих газов уносит песок в сепаратор, где происходит разделение частиц по размерам. Мелкие частицы оседают в циклоне.

Эффективность сушки в кипящем слое и во взвешенном состоянии значительно выше, чем в сушильном барабане. Для сушки сульфата натрия могут быть использованы сушильные барабаны или туннельные конвейерные печи.



б

Рис. II.3. Схемы установок для сушки песка:
а — в кипящем слое; *б* — во взвешенном состоянии: *1* — циклон; *2* — нижний указатель уровня; *3* — верхний указатель уровня; *4* — бункер; *5* — электровибратор; *6* — питатель; *7* — загрузочный клапан; *8* — сушильная печь; *9* — разгрузочный бункер; *10* — конвейер; *11* — вентилятор; *12* — топка; *13* — сепаратор

Сортирование и обогащение материалов. При сортировании из обрабатываемого материала выделяют и удаляют куски или частицы, размеры которых меньше или больше требуемых, и материал разделяют на несколько классов. При обогащении из материалов удаляют посторонние примеси.

Существуют следующие способы сортирования и обогащения материалов: механический (просев через сита), пневматический (воздушная сепарация), гидравлический (классификация), флотооттирочный, электромагнитный (сепарация) и химический. Наиболее распространено механическое сортирование, которое осуществляется на машинах, снабженных ситами, решетками и колосниками. Все сырьевые материалы стекольного производства просеивают на плоских качающихся грохотах (ситах-трясучках), ситах-буратах и вибрационных ситах.

Электромагнитный способ обогащения применяют для обезжелезивания материалов, в которых соединения железа находятся в виде минера-

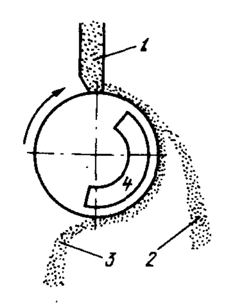


Рис. II.4. Схема электромагнитной сепарации:
1 — материал, подвергающийся сепарации; *2* — немагнитные частицы материала; *3* — намагничивающиеси частицы материала; *4* — электромагнит

лов, способных притягиваться магнитом (рис. II.4). Электромагнитную сепарацию, как правило, проходят пески для производства сортовой посуды, особенно свинцового хрусталя и обесцвеченной стеклянной тары.

Обогащать песок можно также флотооттирочным способом, который позволяет отделять легкие минералы, соединения железа, находящиеся в тяжелых минералах и глинистых примесях. Универсальность и высокая производительность позволяют применять флотооттирочный способ на централизованных базах обогащения.

В последнее время разработана и внедрена на централизованных обогатительных предприятиях технология обогащения кварцевых песков, которая включает в себя следующие технологические операции: дробление и грохочение исходных песков, дезинтеграцию и удаление крупных фракций, механическую или акустическую оттирку первичных шламов и пленок, гидроксидов железа, удаление шлама с выделением в отвал частиц размером 0,1 мм, флотацию с применением анионных реагентов, обезвоживание, фильтрацию и сушку флотационного концентрата.

На ряде стекольных заводов для обогащения кварцевого песка в производстве свинцового хрусталя используют сотрясательные столы, на которых под действием воды одновременно с обогащением происходит и сортирование песка. При мокрых способах обогащения и сортирования материалов требуется последующая сушка, после которой возможно вторичное обогащение — электромагнитная сепарация.

§ 3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ШИХТЫ

Для правильного приготовления шихты необходимо применять обогащенные и подготовленные материалы; точно отвешивать сырьевые материалы по рассчитанному составу шихты (пример расчета шихты приведен в приложении II); тщательно перемешивать сырьевые материалы до полной однородности; подавать и загружать шихту, исключая возможность ее расслаивания.

Основное требование к шихте — высокая степень однородности. Однородная шихта облегчает процесс стекловарения и исключает ряд пороков в готовом стекле. Для обеспечения однородности шихты важное значение имеют ее влажность и зерновой состав сырьевых материалов. Зерна сырьевых материалов должны иметь определенный размер, так как от этого зависит равномерность их растворения и возможное расслоение шихты. При одинаковом размере зерен компонентов шихта расслаивается тем больше, чем крупнее зерна. Небольшое количество влаги (3—5%) благоприятно влияет на однородность шихты. Воду подают непосредственно в смеситель или увлажняют песок при его взвешивании.

Получение и транспортировка шихты

Отвешивание и смешивание материалов. На стекольных заводах для отвешивания сырьевых материалов используют весы разнообразных конструкций. По принципу действия весы бывают стационарными, отвешивающими только один сырьевой материал; подвижными, отвешивающими все материалы поочередно (весы-тележка, весы на монорельсе); стационарными автоматическими и полуавтоматическими, отвешивающими все сырьевые материалы поочередно (весы снабжены бункером, в который подаются материалы из расходных бункеров); автоматическими, устанавливаемыми под каждым бункером.

В настоящее время на крупных заводах сырьевые материалы отвешивают на автоматических весах, причем весы, ленточный конвейер и смеситель связаны системой электроблокировки, обеспечивающей их синхронную работу. Взвешенные в соответствии с рецептом шихты сырьевые материалы перемешивают в смесителях. Наиболее распространены в производстве стеклотары и сортовой посуды контейнерные и тарельчатые смесители. Контейнерные смесители исключают операцию выгрузки шихты. Их целесообразно применять при малом объеме производства и варке

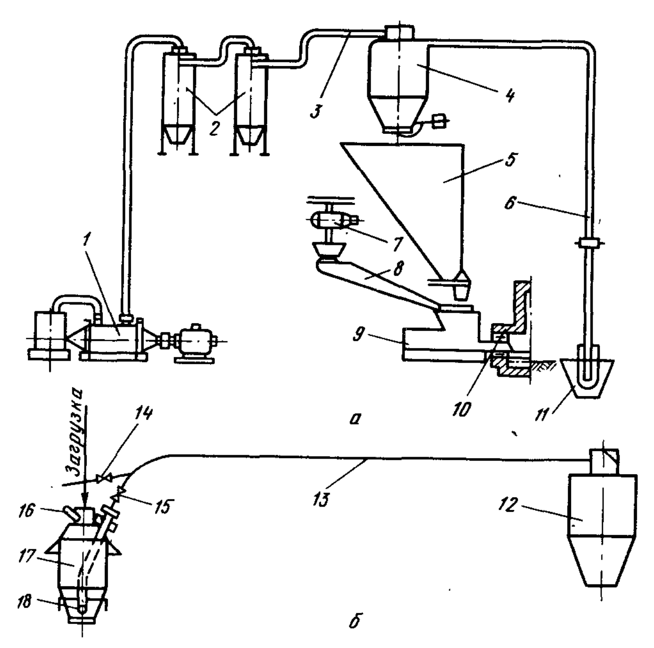


Рис. II.5. Схемы транспортировки шихты:
а – вакуумной; *б* – в плотном слое с использованием камерных питателей; *1* – вакуум-насос; *2* – циклоны; *3* – труба отделителя шихты; *4* – отделитель шихты; *5* – бункер; *6* – труба для забора шихты; *7* – электроталь для подачи боя; *8* – лоток; *9* – загрузчик шихты и стекольного боя; *10* – ванная печь; *11* – резервуар для шихты; *12* – бункер для шихты; *13* – магистральный трубопровод; *14* – продувочный вентиль; *15* – разгрузочный вентиль; *16* – загрузочная часть питателя; *17* – камерный питатель; *18* – заборный патрубок

небольших количеств различных стекол (например, при варке окрашенных стекол в горшковой печи, свинцового хрусталя и т.п.).

Для приготовления шихты в массовом производстве стеклянной тары и сортовой посуды применяют тарельчатые смесители. В смесителях типа СТ сырьевые материалы через приемную воронку загружают на вращающуюся чашу-тарелку. Перемешивание материалов осуществляется при одновременном вращении чаши-тарелки и установленных с эксцентриситетом по отношению к оси смесителя лопастей или катков, имеющих самостоятельный привод. На стекольных заводах, как правило, цикл смешивания в тарельчатых смесителях автоматизирован.

Контроль качества шихты. Готовую шихту контролируют на соответствие заданному химическому составу, влажности, однородности, гранулометрическому составу, а также на комкование. Контроль качества шихты осуществляется проведением в смену одного полного анализа и четырех анализов щелочности и нерастворимого остатка. Допустимые отклонения от заданного состава компонентов в отдельных отвесах не должны превышать по нерастворимому остатку, соде, поташу ± 1%, по карбонатам кальция и магния, сурику, глету, влаге ± 0,5%.

Транспортировка готовой шихты. Приготовленную шихту и стекольный бой подают к стекловаренным печам в контейнерах, кюбелях, бункерных вагонетках. Для транспортировки используют электротельферы, электрокары и другие транспортирующие средства. Возможна подача шихты к стекловаренным печам ленточными конвейерами. На ряде стекольных заводов шихту подают пневматическим транспортом (рис. II.5). К перспективным и экономичным способам транспортировки шихты относится пневматический в плотном слое, который позволяет сократить расход энергии на единицу транспортируемого материала.

Общие технологические схемы подготовки сырья и приготовления шихты

Склады сырьевых материалов и составные цехи крупных стекольных заводов обычно расположены в одном здании, состоящем из трех помещений: склада материалов, перевозимых навалом; склада материалов, перевозимых в таре; составного цеха с отделениями подготовки компонентов и приготовления шихты (рис. II.6).

Подготовка сырьевых материалов на стекольных заводах зависит от вида выпускаемой продукции, применяемых сырьевых материалов, промышленного оборудования и транспортных средств. На схеме II.1 представлена технология подготовки сырьевых материалов для производства зеленых бутылок. На заводах сортовой посуды особое внимание обращают на чистоту сырьевых материалов, особенно песка, для чего применяют способы мокрого сортирования и обогащения песка, электромагнитную сепарацию.

Очевидно, что полная подготовка сырьевых материалов на каждом заводе нецелесообразна, так как усложняет компоновку складов и составленного цеха, увеличивает себестоимость продукции. Целесообразнее готовить и обогащать сырьевые материалы на централизованных базах.

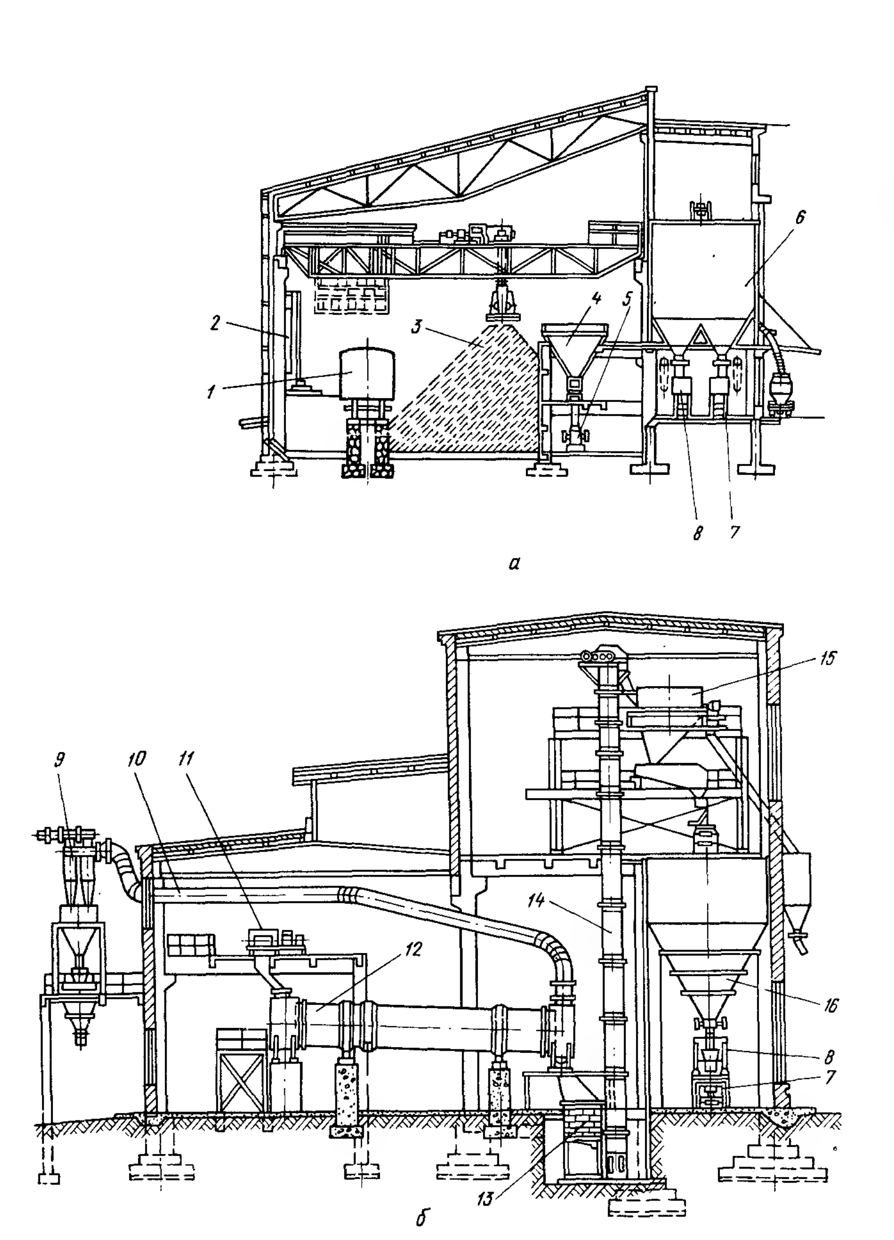


Рис. II.6. Поперечные разрезы склада (*а*) и линии обработки песка (*б*):
1 – вагон; *2* – механический разгрузчик; *3* – штабель сырья; *4* – приемный бункер; *5* – дробилка; *6* – бункер готового сырья; *7* – конвейер для шихты; *8* – автоматические весы; *9* – циклоны для очистки дымовых газов; *10* – дымоотводящая труба; *11* – ленточный конвейер; *12* – сушильный барабан; *13* – охладительная камера; *14* – элеватор; *15* – сито-бурат; *16* – бункер для песка

Песок → Разгрузка вагонов → Хранение на складе → Сушка → Просев → Хранение в бункерах

Доломит, известняк → Разгрузка вагонов → Хранение на складе → Дробление → Сушка → Помол → Просев → Хранение в бункерах

Карбонат натрия → Разгрузка вагонов → Хранение на складе → Растаривание → Просев → Хранение в бункерах

Сульфат натрия → Разгрузка вагонов → Хранение на складе → Сушка → Помол → Просев → Хранение в бункерах

Кондиционный Na_2SO_4 → Просев

Нефелиновый концентрат → Разгрузка вагонов → Хранение на складе → Просев → Хранение в бункерах

Уголь → Разгрузка вагонов → Хранение на складе → Измельчение → Просев → Хранение в бункерах

Стекольный бой → Разгрузка вагонов → Хранение на складе → Измельчение → Магнитная сепарация → Промывка → Сортировка → Хранение в бункерах

Феррохромовый шлак → Разгрузка вагонов → Хранение на складе → Просев → Хранение в бункерах

Хранение в бункерах → Взвешивание → Смешивание компонентов с увлажнением → Транспортировка шихты к стекловаренным печам

Схема II.1. Технология подготовки сырьевых материалов для производства зеленых бутылок

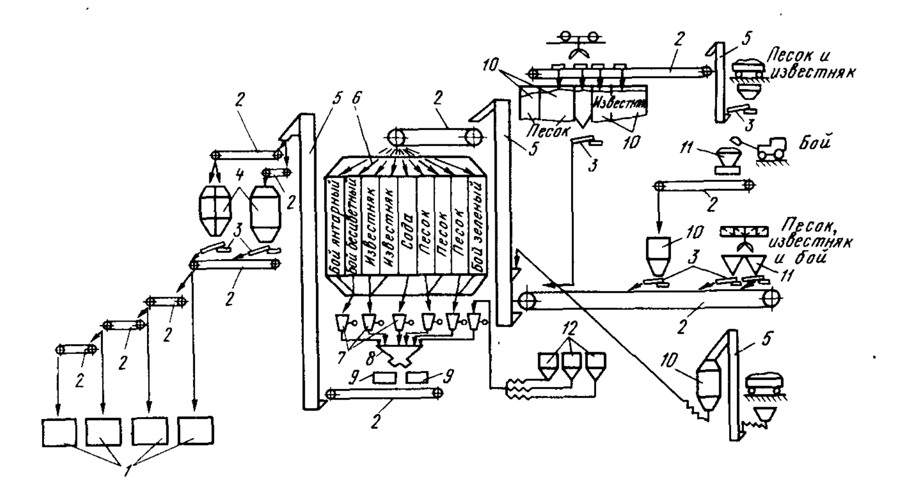


Рис. II.7. Технологическая схема приготовления шихты с использованием кондиционных сырьевых материалов для четырех стекловаренных печей:
1 – стекловаренные печи; *2* – конвейеры; *3* – питатели; *4* – бункера шихты; *5* – подъемники; *6* – блок бункеров сырьевых материалов; *7* – автоматические весы; *8* – сборный бункер; *9* – смесители; *10* – промежуточные бункера сырьевых материалов; *11* – дробилка; *12* – бункера для красителей

На стекольные заводы при этом будет поступать обогащенное сырье постоянного химического состава, что позволит стабилизировать технологические процессы варки и выработки изделий и улучшить их качество. Тогда на заводе вместо составного цеха с полной подготовкой сырьевых материалов будет организовано дозировочно-смесительное отделение и составление шихты может быть автоматизировано.

На большинстве заводов по производству стеклянной тары и сортовой посуды в составном цехе принята линейная система компоновки бункеров сырьевых материалов, под которыми расположены передвижные или стационарные автоматические весы. Возможна башенная компоновка дозировочно-смесительного отделения, при которой материалы после каждого отвеса направляются непосредственно в смеситель, что позволяет избежать лишней транспортировки шихты и пыления. На рис. II.7 приведена технологическая схема высокопроизводительного цеха приготовления шихты для четырех печей, в которых варят стекло разных цветов с использованием кондиционных сырьевых материалов.

На заводах, выпускающих сортовую посуду из различных видов стекол, для приготовления шихты целесообразно использовать контейнеры (рис. II.8).

Шихту с применением контейнеров можно приготовить на поточной линии. В этом случае контейнеры последовательно проходят первый и второй весовые участки и участок ручного ввода малых добавок (красители, обесцвечиватели и т.п.). Далее контейнеры подаются на участок смешивания шихты, закрепляются в специальных устройствах, вращаются в течение определенного времени, после чего транспортируются к стекловаренной печи.

Рис. II.8. Технологическая схема дозировочно-смесительного отделения с применением контейнеров:
1 – контейнер; *2* – первый весовой участок; *3* – распределительный щит; *4* – второй весовой участок; *5* – участок ручного ввода малых добавок; *6* – участок подачи контейнера вилочным загрузчиком на участок смешивания; *7* – участок смешивания материалов в контейнерах; *8* – участок транспортировки контейнеров к стекловаренной печи; *9* – щит управления; *10* – бункера для сырьевых материалов; *11* – бункера для песка и стекольного боя

Совершенствование способов приготовления шихты

В последнее время разработаны способы приготовления однородной шихты в результате проведения реакций силикатообразования в растворах. Впервые однородная шихта, соответствующая определенному составу стекла, была получена способом соосаждения и низкотемпературных химических реакций. Улучшают качество шихты гидротермальный способ ее приготовления, брикетирование и гранулирование.

Гидротермальный способ приготовления шихты. В Научно-исследовательском институте камня и силикатов (г. Ереван) разработана технология гидротермального приготовления шихты с использованием горных пород, содержащих аморфный кремнезем (перлитов, диатомитов, трепелов, пемз и т.п.). Сущность технологии заключается в двукратной обработке измельченной породы слабыми щелочными растворами в автоклавах при температуре около 180°С. Свободный аморфный кремнезем породы на первой стадии обработки взаимодействует с NaOH, образуя раствор трисиликата щелочного металла (жидкое стекло). Остаток породы подвергают вторичной щелочной обработке более концентрированным раствором, что позволяет получить раствор метасиликата щелочного металла и осадок гидратированных алюмосиликатов. В растворимую форму удается перевести около 80% SiO_2 породы. Раствор трисиликата щелочного металла с добавками необходимых количеств SiO_2, силикатов или солей щелочноземельных металлов и алюминия составляет основу гидротермальной шихты (каназита). Силикаты щелочных и щелочноземельных металлов (основные компоненты шихты) отличаются высокой степенью чистоты, так как красящие примеси при гидротермальной обработке остаются в осадке щелочных алюмосиликатов. Это позволяет использовать гидротермальную шихту в производстве сортовой посуды.

Наиболее выгодна комплексная переработка горных пород, при которой можно получать шихту для различных видов стекол, например свинцового хрусталя и тарного стекла. Оптимальный вариант получения шихты для свинцового хрусталя обеспечивается при использовании KOH и $Pb(NO_3)_2$. Однако эти материалы дефицитны, поэтому обычно применяют NaOH, PbO или Pb_3O_4 и поташ. Горную породу подвергают гидротермальной обработке только NaOH. Удаление Na_2O из натриевого жидкого стекла осуществляется путем его гидрокарбонизации, т.е. взаимодействия с углекислым газом [$NaHCO_3$, $(NH_4)_2CO_3$]:

$$Na_2O \cdot 3SiO_2 + CO_2 = Na_2CO_3 + 3SiO_2$$

Схема гидротермального способа приготовления шихты свинцового хрусталя и тарного стекла при комплексной переработке перлита представлена на схеме II.2.

Брикетирование и гранулирование шихты. Проводят для сохранения однородности шихты при транспортировке, загрузке в печь, для ускорения процесса стекловарения. В результате брикетирования и гранулирования устраняется пыление шихты, а главное расслаивание, ускоряется провар, улучшается качество стекломассы, становится возможным созда-

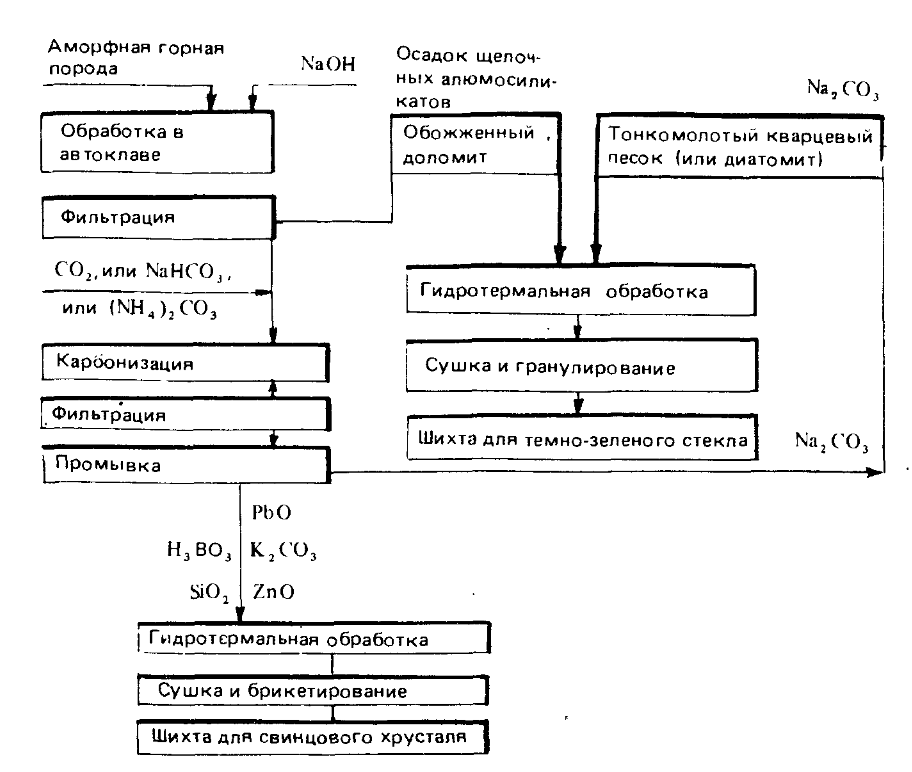
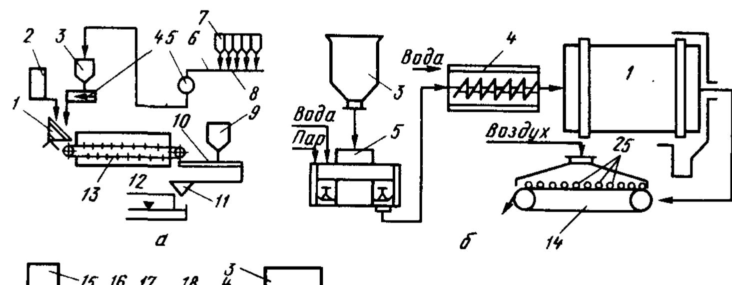


Схема II.2. Гидротермальный способ приготовления шихты

ние значительных запасов шихты и даже централизованной подготовки шихты для группы заводов.

Для брикетирования небольших количеств шихты используют механические и гидравлические прессы. Ротационные механические прессы позволяют брикетировать до 10 т/ч. Давление прессования не менее 40 МПа. В качестве связки применяют 6–8% воды, а при длительном хранении брикетов – водные растворы силиката натрия концентрацией 1–10%, можно применять также известковое молоко, фторсиликат натрия и т.п. Размеры брикетов выбирают произвольно, их форма определяется легкостью удаления из пресс-формы. Особенно эффективно брикетирование шихт из тонкодисперсных материалов, так как устраняются трудности с осветлением стекломассы. Брикетирование повышает эффективность использования гидротермальных тонкодисперсных шихт малой плотности.

Технология гранулирования сводится к получению гранул достаточной прочности и необходимого размера. В качестве связующего можно применять жидкое стекло, мазут, воду. Действие воды основано на том, что она растворяет щелочные компоненты шихты, которые при дальнейшем охлаждении образуют кристаллогидраты и прочно связывают остальные компоненты шихты.



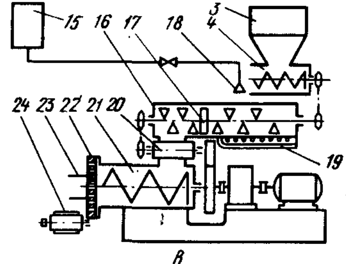


Рис. II.9. Схемы установок с тарельчатым (*а*), барабанным (*б*) и экструзионным (*в*) грануляторами:

1 – гранулятор; *2* – дозатор щелочного раствора; *3* – бункер для шихты; *4* – питатель; *5* – смеситель; *6* – конвейер для транспортировки компонентов к смесителю; *7* – бункера для компонентов; *8* – участок отвешивания; *9* – бункер для стекольного боя; *10* – конвейер для транспортировки гранулированной шихты; *11* – загрузчик; *12* – печь; *13* – сушилка; *14* – охлаждающий конвейер; *15* – резервуар для воды; *16* – двухлопастной насос; *17* – промежуточная фильера; *18* – разбрызгивающее устройство; *19* – тепловая рубашка; *20* – питающие вальцы; *21* – пресс; *22* – выходная фильера; *23* – устройство для равномерного распределения влажных гранул на ленте сушильного конвейера; *24* – сушильный конвейер; *25* – гранулы шихты

Для получения гранул шихты используют тарельчатые, барабанные и другие грануляторы. На тарельчатом грануляторе наиболее прочные гранулы получаются при увлажнении смеси водой в количестве 14–17%. Угол наклона тарели гранулятора 36–45° в большинстве случаев подбирается опытным путем. Диаметр тарели, как правило, более 1200 мм, частота ее вращения 0,33–0,7 $с^{-1}$ (рис. II.9, *а*).

Технология гранулирования шихты с применением барабанного гранулятора (рис. II. 9, *б*) включает подачу сырьевых материалов в смеситель; смешивание и увлажнение шихты; подачу увлажненной массы в гранулятор; гранулирование; резкое охлаждение гранул при их транспортировке.

Сырьевые материалы из расходных бункеров, отвешенные по заданному рецепту, подаются в смеситель, который снабжен паровой рубашкой для поддержания нужной температуры. Шихту увлажняют водой, имеющей температуру 50–55°С. Это необходимо для ускорения процессов растворения щелочных компонентов шихты. Увлажненную шихту выгружают из смесителя на ленточный скребковый конвейер, с которого она подается в бункер гранулятора. Гранулятор представляет собой металлический цилиндр, установленный с наклоном 5° к разгрузочному концу. Частота вращения барабана 0,5–0,7 $с^{-1}$. Гранулы из гранулятора попадают на охлаждающий конвейер. Конвейер заключен в камеру, в которую вентилятором подают воздух с температурой от 0 до 10°С. Протяженность охлаждающего конвейера рассчитывают исходя из времени получения затвердевших гранул. Затвердевшие гранулы ссыпаются в кю-

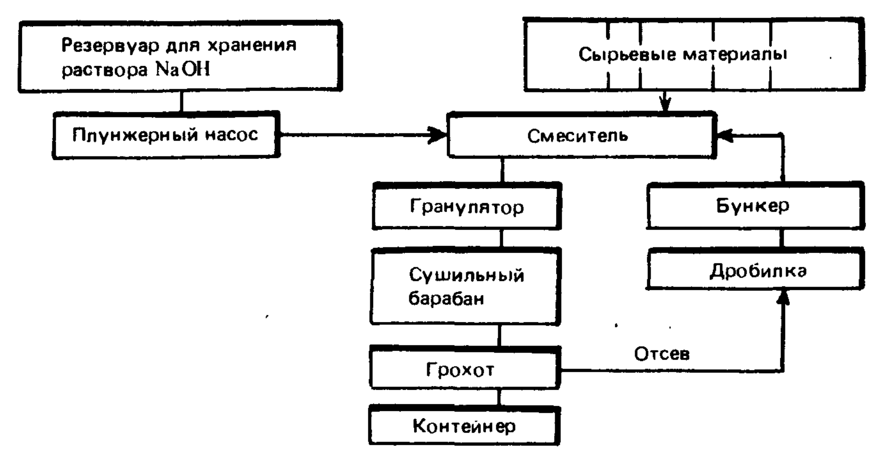


Схема II.3. Технология гранулирования шихты с использованием раствора NaOH

бель. На подобной установке можно также гранулировать окрашивающие смеси для окраски стекломассы в непрерывном потоке.

Перспективным является способ гранулирования шихты экструзией (рис. II.9, *в*). При этом шихту увлажняют и переводят в пластическое состояние, дополнительно перемешивают и загружают в ленточный пресс, где смесь уплотняется и под давлением выходит через фильеры в виде брикетов цилиндрической формы. Для повышения пластичности материала и прочности гранул в прессе может быть осуществлен дополнительный подогрев. Прочность готовых гранул повышается, если их высушить.

Наиболее полно технологические преимущества гранулированной шихты реализованы в способе одной из фирм Японии. По этому способу предусматривается замена 50% карбоната натрия эквивалентным количеством водного раствора NaOH. После смешивания материалов, увлажненных раствором NaOH, шихта поступает на тарельчатый гранулятор, а затем в сушильный барабан. После просева через сито гранулы диаметром 5–20 мм подаются в контейнер, из которого поступают к загрузчику ванной печи. Мелкие и битые гранулы, а также гранулы диаметром более 20 мм дробятся и через бункер расхода подаются в смеситель (схема II.3).

Глава III. СТЕКЛОВАРЕНИЕ

§ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТЕКЛОВАРЕНИЯ

Стекловарение – сложный физико-химический процесс, который протекает при высоких температурах в движущейся среде (стекломассе) переменного и сложного состава и зависит от состава стекла, условий теплообмена, вида топлива, характера движения стекломассы и газов.

При стекловарении протекают **физические процессы** (нагревание шихты, испарение влаги, плавление компонентов шихты, растворение компонентов в расплаве, полиморфные превращения, улетучивание компонентов), **химические процессы** (диссоциация карбонатов, гидра-

тов, нитратов, сульфатов, удаление химически связанной воды, взаимодействие компонентов и образование силикатов).

Изменения шихты при стекловарении можно изобразить в виде схемы (рис. III.1). Обычно весь процесс получения готовой к выработке стекломассы разделяют на пять этапов или стадий, характеризующихся приближенными укрупненными показателями:

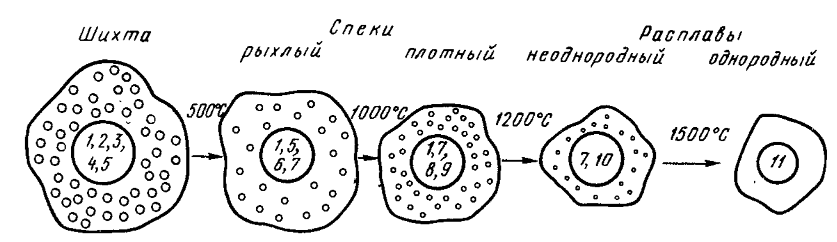


Рис. III.1. Схема превращений в шихте промышленных стекол:
1 – SiO_2; *2* – Na_2CO_3; *3* – $CaCO_3$; *4* – $MgCO_3$; *5* – Al_2O_3; *6* – $Na_2Ca(CO_3)_2$, $CaMg(CO_3)_2$; *7* – газы (CO_2, SO_2, H_2O и др.); *8* – силикаты простые и сложные: Na_2SiO_3; Ca_2SiO_4, $Na_2O \cdot 3CaO \cdot 6SiO_2$ и др.; *9* – алюминаты: $Na_2Al_2O_4$, $CaAl_2O_4$; *10* – неоднородный расплав силикатов алюминатов и кварца, насыщенный газами (неосветленное стекло); *11* – однородный расплав силикатов, алюминатов и кварца, содержащий допустимое количество газов (стекло)

Стадии стекловарения

1) **силикатообразование** – к концу этапа в шихте нет отдельных компонентов, большинство газообразных веществ из шихты улетучилось, составляющие части претерпели ряд физических и химических изменений и основные химические реакции между компонентами шихты закончены. К концу силикатообразования шихта превращается в спекшуюся массу, состоящую из силикатов и кремнезема. Для натрий-кальций-силикатных стекол этап завершается при температуре 900–1150°С.

Скорость силикатообразования тем больше, чем выше содержание в шихте щелочных и щелочноземельных компонентов. Силикатообразование ускоряется также с увеличением степени измельчения компонентов шихты, т.е. с ростом их реакционной поверхности. Большинство процессов силикатообразования – эндотермические, поэтому главным фактором их ускорения является повышение температуры. При росте температуры на 100–150°С силикатообразование ускоряется примерно в два раза;

2) **стеклообразование** – к концу его стекломасса становится прозрачной, в ней отсутствуют непроваренные частицы шихты, однако она еще пронизана большим числом пузырей и свилей, содержит нерастворившиеся зерна SiO_2 и продолжает оставаться химически неоднородной. Содержание нерастворившегося избыточного SiO_2 при проваре шихт промышленных стекол составляет около 25% общего содержания в шихте. Растворение этого SiO_2 протекает гораздо медленнее, чем силикатообразование, занимая 60–70% общего времени варки промышленных стекол. Для сортовых и тарных стекол этап может завершиться при температуре 1150–1250°С, но продолжительность его будет велика. Стеклообразование

значительно ускоряется при повышении температуры до 1500–1600°С, применении перемешивания расплава;

3) **осветление** – стекломасса, становясь менее вязкой, освобождается от видимых газообразных включений. Для сортовых и тарных стекол осветление завершается при температуре 1450–1550°С. Вязкость стекломассы при этом составляет 7–20 Па·с. Ускоряется осветление при повышении температуры, уменьшении толщины слоя стекломассы в зоне осветления стекловаренной печи, добавке осветлителей, бурлении стекломассы;

4) **гомогенизация** – стекломассу длительное время выдерживают при высоких температурах или перемешивают. К концу этапа она освобождается от свилей и становится однородной. Гомогенизация протекает одновременно с осветлением при тех же температурах;

5) **охлаждение стекломассы** – температуру стекломассы снижают на 200–300°С, чтобы получить необходимую вязкость при выработке изделий.

Несмотря на отличия одного этапа от другого, они все же настолько тесно связаны, что практически некоторые из них протекают одновременно (например, процессы силикато- и стеклообразования, осветления и гомогенизации). Последовательность или одновременность этапов процесса зависит от технологических режимов варки и конструктивных особенностей стекловаренных печей.

Физико-химические процессы при стекловарении

В результате взаимодействия между компонентами стекольной шихты при нагревании сначала образуются силикаты, которые затем превращаются в стекломассу. Процессы физико-химического взаимодействия при силикатообразовании весьма сложны.

В начале силикатообразования испаряется влага, гидраты и соли разлагаются с выделением газов, кремнистые материалы подвергаются полиморфным превращениям

$$\beta\text{-кварц} \xrightarrow{575^\circ C} \alpha\text{-кварц} \xrightarrow{870^\circ C} \alpha\text{-тридимит} \xrightarrow{1470^\circ C} \alpha\text{-кристобалит}$$

При температурах до 600°С происходит взаимодействие твердых фаз карбонатов с образованием двойных карбонатов магния и кальция:

$$MgCO_3 + Na_2CO_3 = Na_2Mg(CO_3)_2;$$
$$CaCO_3 + Na_2CO_3 = Na_2Ca(CO_3)_2.$$

В интервале температур 600–830°С осуществляется взаимодействие твердых фаз двойных солей с SiO_2 и термическое разложение $MgCO_3$:

$$Na_2Mg(CO_3)_2 + 2SiO_2 = Na_2SiO_3 + MgSiO_3 + 2CO_2;$$
$$Na_2Ca(CO_3)_2 + 2SiO_2 = Na_2SiO_3 + CaSiO_3 + 2CO_2;$$
$$MgCO_3 = MgO + CO_2.$$

Следует отметить, что все реакции в твердой фазе протекают медленно и значительно активизируются с появлением жидкой фазы. Жидкая фаза в шихте появляется в интервале температур 780–880°С в резуль-

При получении авантюриновых или зеленых стекол без желтоватого оттенка наряду с соединениями хрома вводят соединения меди. Содержащийся в стекле CrO_3 восстанавливается при этом до Cr_2O_3 по реакции

$$2CrO_3 + 3Cu_2O = Cr_2O_3 + 6CuO.$$

Восстановительные процессы осуществляются при варке селенового и медного рубинов; в шихту этих стекол вводят восстановители – винный камень ($KHC_4H_4O_6$), соединения олова.

После завершения реакций разложения компонентов шихты и образования силикатов начинается процесс растворения зерен нерастворившегося SiO_2. Вокруг зерен образуется насыщенный SiO_2 диффузионный слой. Из-за разности концентраций SiO_2 в прилегающем к зерну слое и окружающем расплаве силикатов SiO_2 диффундирует в расплав. Повышение температуры и перемешивание расплава существенно ускоряет указанный процесс.

При осветлении стекломасса освобождается от пузырей. Действие вводимых осветлителей различно. Некоторые из них, например вода, вызывают образование в стекломассе крупных пузырей. В таких пузырях, содержащих водяной пар, парциальное давление CO_2, SO_2, O_2 ничтожно, и эти газы будут всасываться внутрь крупных пузырей. Кроме того, крупные пузыри увлекают за собой более мелкие.

Осветляющее действие оксидов мышьяка и сурьмы состоит в том, что при низких температурах (800–900°С) они поглощают кислород, образовавшийся при разложении сырьевых материалов:

$$As_2O_3 + O_2 = As_2O_5.$$

При температурах выше 1000°С, когда разложение кислородсодержащих соединений закончено, As_2O_5 служит "поставщиком" кислорода для завершения процесса осветления:

$$As_2O_5 = As_2O_3 + O_2.$$

Кислород на стадии осветления действует аналогично парам воды.

При нарушениях режимов варки, осветления и охлаждения стекломассы может быть нарушено установившееся равновесие газов в ней. При этом возможны следующие реакции:

разложение остатков SO_3:

$$2SO_3 = 2SO_2 + O_2;$$

восстановление SO_3 оксидом углерода:

$$SO_3 + CO = SO_2 + CO_2.$$

Выделяющиеся на стадии охлаждения газы образуют мелкие пузыри (вторичную "мошку"), которые приводят к браку изделий.

§ 2. ВАРКА СТЕКЛА В ГОРШКОВЫХ И ВАННЫХ ПЕЧАХ

Варка стекла производится в печах различных конструкций с газовым или электрическим обогревом. По режиму работы различают периодические (горшковые) и непрерывные (ванные) печи. В некоторых случаях применяют периодические ванные печи.

Работа печей характеризуется производительностью, коэффициентом полезного действия и расходом тепла на варку стекла. Коэффициент полезного действия (КПД) горшковых печей 6–8%, периодических ванных 10–15%, непрерывных ванных 17–28%, электрических 50–70%.

Наиболее эффективны по доле полезно затраченного тепла электрические печи. Однако их широкое применение в промышленности сдерживается относительно высокой стоимостью электроэнергии по сравнению со стоимостью природного газа и других видов топлива.

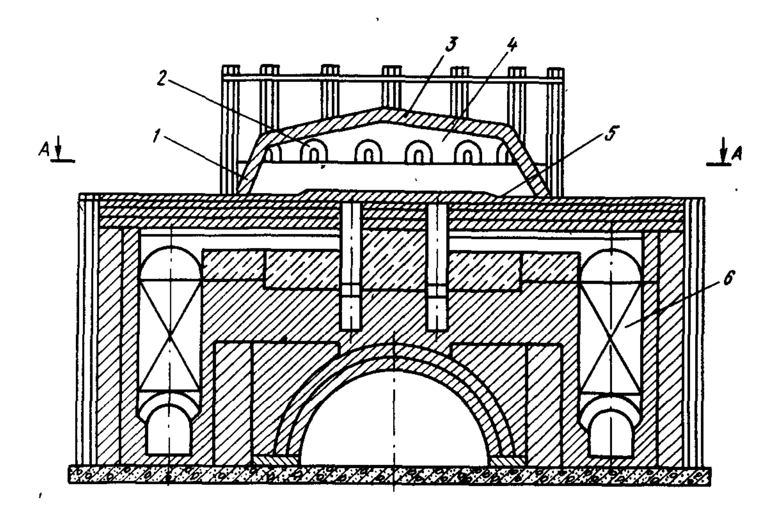
Варка в горшковых печах. Горшковые печи обычно применяют в производстве сортовой посуды из окрашенных стекол. В настоящее время в производстве сортовых изделий высокого качества из цветного и свинецсодержащего стекла используют многогоршковые, регенеративные печи с нижним подводом пламени (рис. III.2). Горшковая печь состоит из рабочей камеры *4* и установленных в ней стекловаренных горшков *8*. Основными элементами рабочей камеры являются под *5*, стены и свод *3*. Нижняя часть стен – окружка *1* – ограждает горшки. В верхней части стен расположены рабочие окна *2*. В окружке *1* против горшков имеются отверстия (дуплешки) *7* для обслуживания. Для вставки и выемки горшков в окружке и над ней имеется отверстие *10*, закрываемое специальными плитами – передками. Толщина окружки 450–500 мм. Окружку обвязывают стальными бандажами. Динасовые своды имеют обычно толщину 300 мм.

В горшковых печах с нижним подводом пламени газы подводятся и отводятся через подовые горелочные отверстия *9* – кади. Факел пламени образуется в камере частичного предварительного сгорания – "горячем колодце", на дне которого также собирается вытекающая из рабочей камеры загрязненная стекломасса (шквара), образующаяся при проваре шихты, просыпанной при загрузке, утечке горшков и т.п. Окончательно факел развивается в пространстве между горшками. Для подогрева воздуха служат регенераторы *6*. Горшки круглые, реже овальные. В вертикальном сечении они обычно имеют форму усеченного конуса, реже цилиндра. Вместимость горшков определяют исходя из производственной потребности. При работе вручную важно выработать содержание горшка в одну смену. Чем меньше размер вырабатываемых изделий, тем меньше должен быть размер горшка. Обычно применяют шамотные горшки, в некоторых случаях каолиновые и кварцевые. Шамотные горшки иногда защищают изнутри слоем кварца или глинозема.

При варке в горшке на стекломассу легко воздействовать путем перемешивания и бурления.

Горшковые печи с нижним подводом пламени, предназначенные для варки цветных и хрустальных стекол, обычно имеют до 16 горшков полезной вместимостью 300–500 кг каждый и тепловой КПД до 8%.

Специфика работы горшковых печей заключается в периодичности процесса варки и выработки изделий. Шихта в стекловаренном горшке получает тепло главным образом за счет излучения от свода печи и частично за счет теплопроводности через стенки горшка. Поэтому для горшковых печей особое значение имеет высота свода печи: чем ниже свод, тем интенсивнее прогрев горшка и находящейся в нем шихты. Шихту



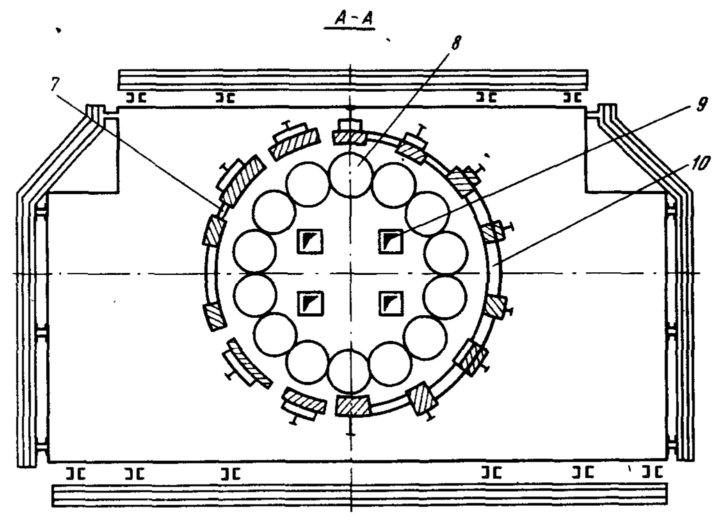


Рис. III.2. Горшковая печь с нижним подводом пламени

рекомендуется загружать только в горячие горшки, имеющие на дне "подушку" из расплавленного стекла толщиной 8–10 см.

Особое внимание следует уделять качеству изготовления горшков и их обжигу: удовлетворительным можно считать обжиг горшков при температуре 1500°С. После обжига горшок должен быть достаточно устойчивым к действию стекла.

При варке стекла в горшковых печах все процессы (силикатообразование, стеклообразование, гомогенизация, осветление и охлаждение) чередуются во времени. Варку стекла в горшковых печах принято условно делить на четыре стадии: разогрев печи, варка стекла, осветление и охлаждение до температуры выработки. Как правило, все эти стадии

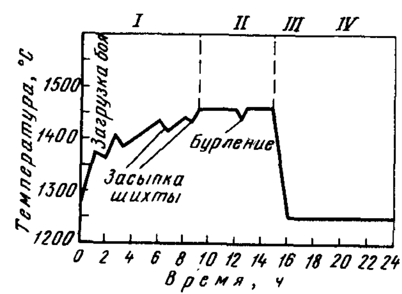


Рис. III.3. График варки стекла в горшковой печи:
I – разогрев и варка; *II* – осветление; *III* – охлаждение; *IV* – выработка

осуществляются в зависимости от состава стекла и конструкции печи по определенному графику. Примерный график варки натрий-кальций-силикатного стекла для производства столовой посуды и художественных изделий приведен на рис. III.3.

При варке стекла в горшковых печах обычно устанавливают следующий порядок. По окончании выработки измеряют остатки стекла в горшках. Эти остатки в горшках должны быть одинаковыми. Затем плотно закрывают все окна и места, через которые может засасываться холодный воздух в печь, и разогревают печь до температуры 1350–1400°С с максимальной скоростью. Сначала засыпают бой или смесь боя и шихты; после расплавления боя засыпают шихту. Шихту засыпают в середину горшка, чтобы она образовывала правильный конус.

Вторично шихту засыпают, когда на пробе стекла нет непроварившихся зерен песка или когда от предыдущей засыпки остается небольшой конус нерасплавившейся шихты (диаметр конуса примерно равен 1/3 внутреннего диаметра горшка). После провара второй засыпки шихты горшок наполняют боем. После расплавления последней порции боя производится бурление стекломассы.

Бурление производят следующим образом. Хорошо замоченный кусок дерева (осина) с помощью металлического стержня погружают в стекломассу. Под действием выделяющейся из дерева влаги стекломасса в горшке приходит в движение, перемешивается и приобретает однородность. Одновременно крупные пузыри, образовавшиеся из влаги, поднимаясь к поверхности стекломассы, на пути движения встречаются с мелкими газовыми пузырями, соединяются с ними, увеличиваясь в объеме и выходят на поверхность. Бурление можно также производить сжатыми газами через трубку один или два раза. Стекло считается очищенным, если на пробе находятся редкие крупные пузыри.

После того как процесс очистки стекломассы от пузырей окончился, температура в печи снижается, стекломасса охлаждается и приобретает необходимую для выработки изделий вязкость. Далее проводится подготовка печи, горшков, рабочих мест мастеров-выдувальщиков и начинается выработка изделий.

Варка в ванных печах. Процесс варки стекла в периодических ванных печах аналогичен процессу варки его в горшковых печах. Однако более эффективное использование варочной части делает периодические ванные печи экономичнее горшковых.

Ванные печи непрерывного действия – более совершенные тепловые агрегаты, чем горшковые и ванные печи периодического действия, поэтому они и получили наибольшее распространение в промышленности.

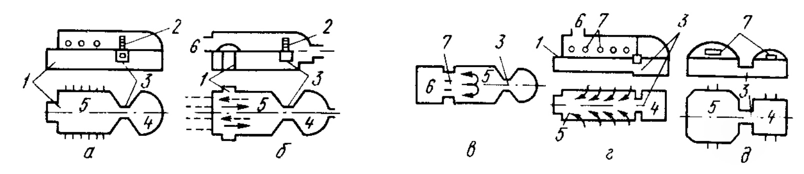


Рис. III.4. Схемы проточных регенеративных ванных печей с поперечным (*а*) и подковообразным (*б*) направлением пламени; рекуперативной с подковообразным направлением пламени (*в*), прямого нагрева (*г*) и с самостоятельными варочным и выработочным бассейнами (*д*); *1* – загрузочный карман; *2* – решетчатый экран; *3* – проток; *4* – выработочная часть печи; *5* – варочная часть печи; *6* – рекуператор или дымовая труба; *7* – горелки

В производстве стеклянной тары и сортовой посуды преимущественно применяют ванные печи непрерывного действия с протоком. Протоки позволяют отбирать более охлажденную и лучше проваренную стекломассу, повысить производительность печи. Протоки располагают чаще всего на уровне дна варочной части. Для устранения возвратного потока и лучшего охлаждения стекломассы протоки заглубляют и устраивают пороги.

Для облегчения обслуживания протока и ликвидации застойных зон стены бассейна в области протока скашивают на 15–20°, а для уменьшения разъедания огнеупора проток охлаждают воздухом с помощью вентилятора или водой, подаваемой в холодильники.

Газовое пространство печей разделяют решетчатыми перегородками (экранами). Выработочная часть печи в этом случае не имеет самостоятельного отопления. Тепло для ее обогрева передается из варочной части излучением и потоками стекломассы. Если же требуется точная регулировка режима варки в выработочной части, ее наглухо отделяют от варочной части по газовому пространству и применяют самостоятельный обогрев.

Ванные стекловаренные печи подразделяют на печи с пламенным и электрическим способом отопления.

Существуют разнообразные конструкции этих типов печей. При строительстве современных печей стремятся удовлетворить два главных требования: интенсифицировать процесс стекловарения и снизить эксплуатационные расходы.

Печи с пламенным отоплением по способу использования тепла отходящих газов делят на рекуперативные, регенеративные и прямого нагрева, а по направлению пламени – с поперечным, подковообразным, продольным и смешанным (рис. III.4).

Электротермические печи разделяют по способу подвода электроэнергии на печи индукционного нагрева, сопротивления (прямого нагрева электрическим током) и косвенного нагрева. В промышленности применяют печи сопротивления, которые по количеству и месту подведения электроэнергии делят на печи с чисто электрическим способом отопления, с комбинированным (пламенно-электрическим) и вспомогательным (дополнительным) подогревом стекломассы.

При механизированной выработке изделий обычно применяют ванные печи с поперечным направлением пламени, в которых лучше регулируется тепловой режим по печи, создается необходимая температура в зонах варки, осветления и гомогенизации. В регенеративных печах с поперечным направлением пламени можно устанавливать секционные регенераторы, которые позволяют регулировать температуру воздуха для соответствующей горелки. Стекловаренные печи с подковообразным направлением пламени более компактны, в них лучше используется топливо, обеспечивается требуемая настильность факела, но трудно регулируется температура в отдельных зонах.

Преимущества печей с поперечным и подковообразным направлением пламени сочетают печи с продольно-поперечным направлением пламени. В последнее время в производстве сортовой посуды стали применять секционные ванные печи, которые позволяют вырабатывать на одной печи стекла различных составов. Особенно удобны такие печи для варки и выработки цветных стекол.

При механизированном производстве изделий также используют печи, в которых выработочный бассейн традиционной полукруглой формы заменяют канальной системой подвода стекломассы к питателям стеклоформующих машин. Применение таких печей объясняется следующим. Выработочные бассейны традиционной формы не могут обеспечить охлаждение стекломассы без нарушения ее термической однородности. Из варочного бассейна стекломасса поступает к питателям восходящим потоком относительно небольшого сечения, который пронизывает более холодную стекломассу и частично увлекает за собой, нарушая ее термическую однородность. Чем больше разность температур стекломассы в варочном и выработочном бассейнах, тем сильнее нарушается ее однородность. Уменьшая размеры выработочного бассейна, применяя канальную систему подвода стекломассы, можно уменьшить ее неоднородность, избежать кристаллизации.

Чтобы увеличить выпуск сортовой посуды ручным способом с тех же площадей варочной части печи, необходимо расширить фронт выработки. Существует несколько вариантов расширения фронта выработки в печах для производства изделий из свинцового хрусталя. Наличие двух и трех выработочных бассейнов позволяет более разумно распределить бригады рабочих и оборудование.

В выработочных бассейнах печей для свинцового хрусталя стекломасса расслаивается и обогащается кремнеземом в верхних слоях и оксидом свинца в нижних. Это является причиной ее неоднородности и появления свилей в изделиях. Такие виды брака устраняют перемешиванием стекломассы в выработочном бассейне. Некоторые конструкции печей для варки сортовых и тарных стекол будут также рассмотрены в гл. VII и VIII.

Экономичность работы ванных стекловаренных печей определяют исходя из тепловых балансов, которые составляют при теплотехническом расчете. В табл. III.1 и на рис. III.5 в виде диаграмм приводятся примеры укрупненных тепловых балансов для различных типов печей в производстве тарного и сортового стекла. Из сравнения этих балансов видно, за счет каких статей расхода изменяется экономичность работы печи.

Таблица III.1. **Укрупненные тепловые балансы печей**

Печь	Производительность, т в сутки	Приход тепла, %			Расход тепла на стекловарение, %	Потери тепла, %	
		от сжигания топлива	от подогретого воздуха	от электронагрева		через кладку, слой шихты, излучением и др.	с отходящими газами
Пламенная для варки тарного стекла	126	66,59	33,41	–	17,09	26,55	56,36
Газоэлектрическая для варки зеленого бутылочного стекла	200	64,91	29,29	5,8	27,3	16,7	56
Пламенная для варки свинцового хрусталя	6	69,04	30,96	-	6,8	37,36	55,84
Электрическая							
для варки свинцового хрусталя	2,5	–	–	100	67,66	32,34	–
для варки бутылочного стекла	70	–	–	100	63,34	36,66	–

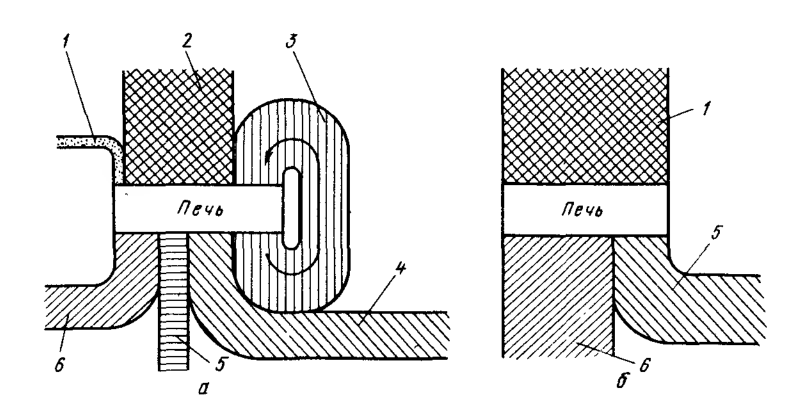


Рис. III.5. Диаграммы тепловых потоков стекловаренных печей:
а – газоэлектрической для варки зеленого бутылочного стекла производительностью 200 т в сутки; *б* – электрической для варки свинцового хрусталя производительностью 2,5 т в сутки. Приход тепла от электронагревания (*1*), сжигания топлива (*2*), подогретого воздуха (*3*). Расход тепла с отходящими газами (*4*), через кладку, слой шихты, излучением и т.п. (*5*), на стекловарение (*6*)

Варка стекол в ванных печах непрерывного действия протекает совершенно в иных условиях, чем в горшковых. Силикато- и стеклообразование, осветление и охлаждение в этих печах осуществляются одновременно и непрерывно на соответствующих участках печи.

Непрерывность процесса позволяет устанавливать стабильные температурный и газовый режимы, постоянное питание шихтой и боем, а также определенный уровень стекломассы. Шихта и бой образуют слегка погруженный в стекломассу слой толщиной около 150–200 мм. Шихта нагревается снизу расплавом стекла и сверху за счет излучения пламени. Под действием температуры поверхность шихты спекается, затем на ней образуется тонкий слой вспененного расплава, который стекает и обнажает свежую поверхность шихты. Процесс спекания, плавления и удаления расплава с поверхности шихты идет до тех пор, пока последний слой шихты не превратится в расплав, покрытый варочной пеной. Провариваясь, слой шихты распадается на участки, окруженные пеной, которые затем полностью растворяются, и остается одна пена.

Часть ванной печи, покрытая слоем шихты, образует границу шихты; примыкающая к ней часть, покрытая пеной, – границу пены. Границы шихты и пены следует постоянно контролировать, так как неизменность этих границ свидетельствует о стабильности условий варки стекла.

От загрузочного кармана к выработочной части ванной печи температура проходит через максимум (квельпункт). Это место является линией, разделяющей зону варки и зону осветления. Квельпункт выполняет особую роль в стекловарении: создает термическую преграду на пути потоков стекломассы.

Варка стекла в электрических печах сравнительно небольшой производительности, например для варки свинцового хрусталя (рис. III.6), имеет свои особенности. Процессы стекловарения (силикато- и стеклообразование, осветление и гомогенизация) осуществляются в таких печах сверху вниз. Вся поверхность расплава в таких печах должна быть постоянно покрыта шихтой. Нарушение целостности слоя шихты (прогар) ведет к нарушению электрического и технологического режимов работы печей. Температура над слоем шихты обычно не превышает 150–200°С, поэтому создаются благоприятные условия для уменьшения потерь легколетучих компонентов. Тепло при электрической варке выделяется непосредственно в стекломассе и шихта плавится в результате подвода тепла снизу. Это обеспечивает экономичность и высокий тепловой КПД печи.

Загрузка шихты и стекольного боя в ванные печи должна соответствовать расходу стекломассы на выработку изделий. Для этого используют стольные или роторные загрузчики. Стольные загрузчики работают по принципу проталкивания порций шихты и боя при возвратно-поступательном движении стола или гребка, расположенного под бункером шихты. Для загрузки стекловаренных печей небольшой производительности применяют тонкослойные загрузчики с качающимся столом. Роторные загрузчики обеспечивают раздельную подачу шихты и боя в ванную печь, причем шихту загружают на слой боя.

Фронт загрузки, особенно при больших съемах стекломассы, должен обеспечивать подачу шихты почти по всей ширине печи. Для этого устанав-

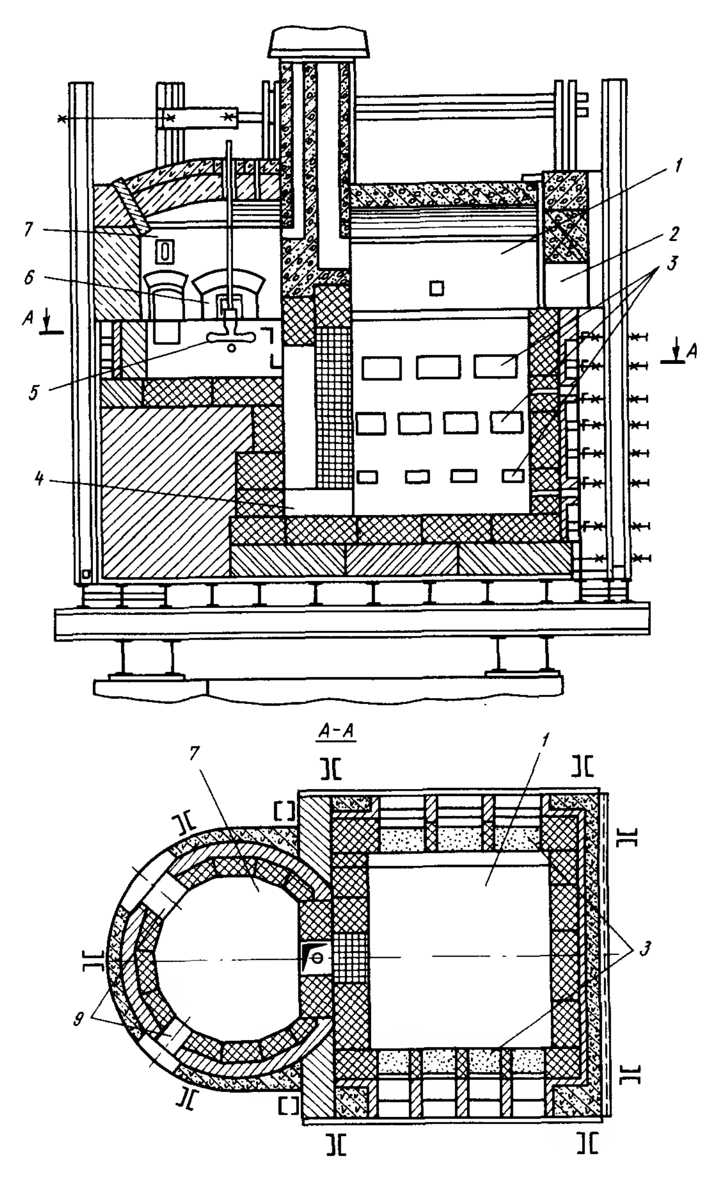


Рис. III.6. Электрическая ванная печь для варки свинцового хрусталя с электродами из оксида олова (IV):
1 – варочная часть; *2* – загрузочное отверстие; *3* – электроды; *4* – проток; *5* – мешалка; *6* – выработочное окно; *7* – выработочная часть печи; *8* – каналы к питателям

Рис. III.7. Схема установки для уплотнения шихты

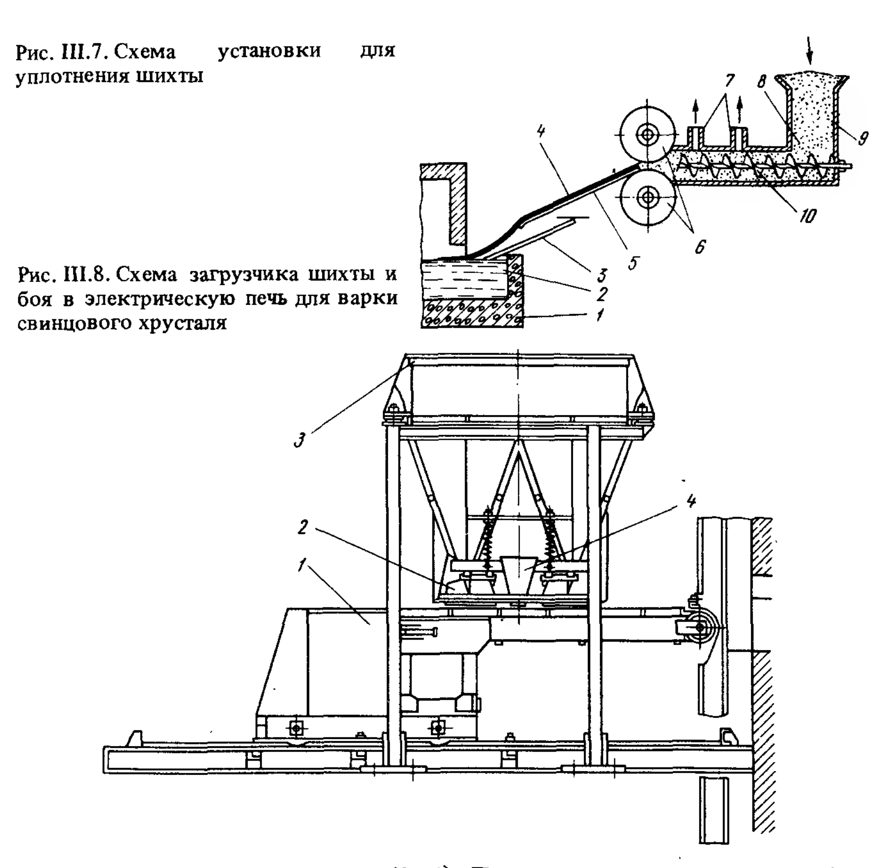


Рис. III.8. Схема загрузчика шихты и боя в электрическую печь для варки свинцового хрусталя

ливают несколько загрузчиков (3–6). При такой ширине загрузки соблюдается равномерность подачи шихты, малая скорость ее продвижения и небольшая толщина слоя. Для поддержания постоянного уровня стекломассы с точностью ± 0,5 мм загрузчики работают в автоматическом режиме и связаны с уровнемером, установленным в выработочной части печи.

В последнее время начинают развиваться способы подачи в печь уплотненной шихты в виде пластин больших размеров, что ускоряет варку и улучшает использование тепла. Шихту у стекловаренной печи можно уплотнять на специальном оборудовании (рис. III.7). Установка для уплотнения шихты включает бункер *9*, в который загружается шихта *8*. Шнек *10* подает шихту к уплотняющим роликам *6*, дополнительно перемешивает ее, обеспечивает первичные дегазацию (воздух удаляется по трубам *7*) и уплотнение. Окончательные дегазация и уплотнение осуществляются роликами *6*. По лотку *5* уплотненная шихта *4* поступает в печь *1* на слой стекольного боя, который подается на стекломассу *2* по лотку *3*.

Некоторые особенности имеет загрузка шихты и боя в электрические стекловаренные печи, в которых варка стекломассы проходит под слоем шихты. При небольшом расходе стекломассы шихта и бой загружаются

периодически в автоматическом цикле с помощью загрузчика (рис. III.8). При поступлении сигнала от уровнемера включается вибропитатель *2*, шихта и бой подаются из бункера *3* на транспортирующую ленту тележки *1* через лоток *4*. После загрузки на ленту определенного количества шихты и боя включается привод перемещения тележки. При достижении тележкой варочного бассейна включается конвейер, который по мере продвижения внутрь печи ссыпает шихту и бой на загруженный ранее слой шихты. Вследствие поступательного движения тележки с конвейером шихта и бой равномерно распределяются по площади варочного бассейна.

Стабильность процесса стекловарения обеспечивается автоматикой, которая контролирует основные параметры, температурный и газовый режимы, сбалансированную загрузку шихты и боя.

Основными параметрами автоматического управления режимом стекловаренной печи являются: количество и отношение расходов топлива и воздуха, температура газа и воздуха в регенераторах; давление и состав газа в печи, постоянство уровня стекломассы. Автоматическое управление работой стекловаренной печи позволяет повысить качество стекломассы, увеличить выпуск изделий, снизить их себестоимость.

Важнейшим признаком нормальной работы стекловаренной печи является постоянство положения границ шихты и пены. Это обеспечивается соблюдением контрольных параметров режима работы печи: максимальной температуры, общего расхода топлива и по зонам, температуры верхнего строения по длине варочной части печи, производительности печи по съемам стекломассы. Зона варки должна быть симметричной относительно продольной оси ванной печи. Смещение зоны варки в ту или другую сторону относительно этой оси – "перекос" – служит признаком нарушения нормальной работы печи.

"Перекосы" зоны варки вызываются в основном неравномерным расходом топлива по сторонам печи, неодинаковой тягой с левой и правой сторон печи, а также нарушением питания шихтой и боем по фронту загрузки. Результатом таких нарушений является понижение температуры в области перекоса. Для устранения перекоса допускается уменьшение подачи шихты и увеличение подачи боя на сторону печи, имеющую пониженную температуру.

Появление в зоне варки следов расплавленного щелока (сульфата натрия) или обильной пены не допускается, так как это свидетельствует о нарушении температурного и газового режимов, неправильном соотношении или плохом смешивании сульфата натрия и угля.

При появлении большого количества пузырей в области чистого зеркала и за последней парой горелок принимают меры по нормализации съема стекломассы, границ шихты и пены, расхода топлива и воздуха по зонам печи, давления газовой среды, соотношения сульфата натрия и восстановителя в шихте. Кроме этого, следует проверить правильность измерения температуры и провести анализ отходящих газов.

Местные выделения пузырей, образующихся вследствие разрушения огнеупоров, устраняют установкой холодильников, а появление большого количества пузырей в разных местах печи – нормализацией температурного и газового режимов.

Окраска стекломассы может быть результатом избытка восстановителя в шихте и восстановительного характера пламени. В этих случаях временно прекращают подачу шихты с повышенным содержанием восстановителя и устанавливают нормальное соотношение газ – воздух. Должны быть постоянны состав шихты, соотношение боя и шихты, производительность печи и другие параметры. Содержание оксидов железа, их соотношение (Fe_2O_3/FeO) должно быть стабильным, так как при этом сохраняется определенная теплопрозрачность стекломассы. Снижение содержания оксидов железа на 25–30% вызывает прогрев стекломассы по глубине и вовлечение в рабочий поток ее нижних слоев с дефектами (пузыри, свили и т.п.).

§ 3. ПОРОКИ СТЕКЛОМАССЫ

Качество стекла и изделий из него характеризуется химической и физической однородностью и отсутствием инородных включений. Правильное распознавание пороков в стекле и изучение причин их возникновения являются предпосылками увеличения выпуска изделий и борьбы с браком. Причины брака можно установить, исследуя стекло под микроскопом. Петрографический метод контроля при наличии пособий по характерным и часто встречающимся порокам наиболее приемлем в заводских условиях.

Пороки стекла можно разделить на три группы (табл. III.2): твердые (камни и кристаллы), стекловидные (свили и шлиры) и газовые (пузыри) включения.

Твердые включения – самый опасный порок стекломассы, так как они вызывают сильные местные напряжения, которые мешают нормальному отжигу изделий, снижают их механическую прочность и термическую устойчивость, а также являются причиной саморазрушения изделий. Твердые включения, частично растворившиеся в стекле, обычно встречаются вместе со свилью и пузырями. Пороки в стекле появляются при кристаллизации стекломассы, наличии посторонних загрязнений и некоторых труднорастворимых минералов шихты, при разъедании огнеупора (камни огнеупора).

Продукты разрушения огнеупоров появляются из-за их низкого качества (высокая пористость, недостаточный обжиг, наличие выбоин и раковин), высокой температуры стекловарения, значительного количества в составе стекла щелочей, борного ангидрида, оксида свинца, разъедающих огнеупоры. Наибольшему разъеданию подвергаются стыки огнеупорных брусьев на уровне зеркала стекломассы, а также брус протока в ванных печах непрерывного действия. Камни от огнеупоров могут быть шамотными, высокоглиноземистыми, бакоровыми и динасовыми.

Чтобы решить, какой участок кладки печи разрушается, образуя камни от огнеупоров, следует прежде всего проверить степень перерождения и растворения включений. Чем ближе источник камней расположен к месту выработки, тем меньше растворены включения, тем острее их грани, тем тоньше возможный слой кристаллов по их периметру. Сильно перерожденные камни могут дать только огнеупоры варочной части.

Таблица III.2. Основные пороки стекломассы

Вид порока	Причины возникновения пороков на стадии			
	приготовления шихты	варки	осветления и гомогенизации	охлаждения
Камни шихтные, от огнеупоров	Комкование шихты, плохое перемешивание шихты, крупнозернистые компоненты шихты и неоднородность ее гранулометрического состава, наличие посторонних нерастворимых включений	Неправильная загрузка шихты в печь, недостаточная температура или продолжительность варки, быстрое продвижение непроварившихся частиц, разъедание огнеупоров стен варочного бассейна и свода печи	Быстрое продвижение непроварившихся частиц, разъедание огнеупоров стен варочного бассейна и свода печи	Поступление стекломассы с пороками из варочного бассейна, разъедание огнеупоров свода выработочной части печи
Продукты кристаллизации	–	–	–	Применение стекла, склонного к кристаллизации, выдержка стекломассы при температурах, благоприятствующих кристаллизации, попадание пыли, осколков стекла и т.д.
Свиль	Неоднородность гранулометрического состава, комкование и плохое перемешивание шихты, расслоение шихты при транспортировке	Неправильная загрузка шихты в печь, недостаточная температура или продолжительность варки, большая вязкость стекломассы, выплавление компонентов шихты	Недостаточное перемешивание стекломассы газами или резкое падение температуры, растворение огнеупоров	Преждевременное падение и неравномерное распределение температуры, местное растворение огнеупоров, образование высоковязкой поверхностной пленки
Пузыри	Избыточное количество газообразных в шихте, недостаточное количество осветителей	Неправильная загрузка шихты в печь, недостаточная температура	Недостаточная температура. Затянувшиеся реакции силикатообразования и протекание вторичных реакций	Протекание вторичных реакций, неблагоприятная атмосфера печи
	Неоднородность гранулометрического состава компонентов шихты. Высокое содержание боя	Неблагоприятная атмосфера в печи, выделение газов из огнеупоров	Высокая вязкость стекломассы. Неблагоприятная атмосфера в печи	Сильное охлаждение стекломассы – образование корки. Выделение газов из огнеупоров. Попадание металлического железа

Продукты кристаллизации могут образовываться в массе в виде различных соединений (в зависимости от ее состава). Если она богата кремнекислотой, выделяются кристаллы тридимита и кристобалита, при повышенном содержании оксида кальция–силикаты кальция–волластонит и псевдоволластонит, а в присутствии большого количества оксидов магния–диопсид. В тарных и сортовых промышленных стеклах кристаллизуется также девитрит. Для уменьшения опасности кристаллизации составы промышленных стекол подбирают так, чтобы температура их выработки была выше температуры кристаллизации на 25–30°С, а также сокращают время пребывания стекломассы при опасных температурах. Уничтожить появившиеся кристаллы можно, хорошо прогрев стекломассу.

К стекловидным включениям относят свили и шлиры. Они отличаются от основной массы по химическому составу и физическим свойствам (показатель преломления, вязкость, поверхностное натяжение, плотность, иногда цвет). Чаще всего источником свилей являются огнеупоры. Стекломасса при движении обтекает огнеупоры бассейнов печи, вымывает кусочки, которые при растворении дают свили. Особенно опасны свили и шлиры, образующиеся в зоне выработки стекла, т.к. из-за высокой вязкости они не могут раствориться в стекломассе.

Наиболее точно природу свилей можно определить химическим или спектральным анализом, для чего отбирают пробы из мест их предполагаемого образования стеклодувной трубкой и раздувают в тонкостенный пузырь, на котором свили хорошо заметны.

Газовые включения делят на пузыри (диаметром более 0,8 мм) и "мошку" (диаметром менее 0,8 мм). Они могут быть бесцветными и окрашенными и содержать различные включения или осадки.

Возможность появления пузырей в стекломассе не исключена на всем протяжении процессов варки и выработки стекла. Пузыри в стекле могут быть первичного и вторичного происхождения. Возможно занесение в стекломассу пузырей извне (при неправильном наборе стекломассы, при попадании посторонних предметов).

Размеры пузырей – это первое, на что следует обратить внимание при установлении источника их образования. Чем больше размер пузырей в изделиях, тем ближе к месту или моменту выработки они образовались. Для определения происхождения пузырей эффективно исследование их под микроскопом (определение степени окраски и наличие осадка), а также установление химического состава содержащихся в пузырях газов. Пузыри могут содержать O_2, SO_2, CO_2, N_2, пары воды и другие газы.

Мерами предупреждения образования и устранения включений всех видов являются правильный подбор гранулометрического состава компонентов шихты и их тщательное смешивание, полное осветление стекла, сохранение стабильной температуры в зонах стекловаренной печи, создание окислительной атмосферы в зонах осветления и охлаждения стекла, высокая плотность и большая стеклоустойчивость огнеупоров.

§ 4. СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА СТЕКЛОВАРЕНИЯ

В настоящее время известно значительное число способов интенсификации варки стекла. По механизму воздействия на процесс стекловарения их можно классифицировать на химические, термические и гидродинамические. Кроме того, ускорить процесс можно путем совершенствования конструкции стекловаренных печей. Классификация эта в известной степени условна, так как обычно перечисленные способы интенсификации применяются комплексно.

Химические способы интенсификации. Их можно разделить по стадиям технологического процесса приготовления шихты и варки стекла.

На стадии приготовления шихты интенсификация стекловарения может быть осуществлена путем замены одного из компонентов шихты более активным, уплотнения шихты (гранулированием или брикетированием), использования специальных (например, гидротермальных) способов приготовления шихты, предварительной термической обработки сырьевых материалов.

Замена части карбоната натрия раствором NaOH ускоряет процесс варки стекла благодаря тому, что водный раствор NaOH обволакивает зерна песка и силикатообразование начинается при более низких температурах, чем при использовании одного карбоната натрия.

Интенсифицирующий эффект при использовании гранулированной или брикетированной шихты обусловливается увеличением поверхности соприкосновения между частицами сырьевых материалов, повышенной теплопроводностью шихты по сравнению с обычной, что способствует лучшему прониканию тепла в ее массу; использованием очень мелких фракций песка.

Применение гранулированной шихты, полученной с применением раствора NaOH, увеличивает производительность печей при выработке стекломассы на 20–30%, снижает расход топлива. Таким образом, технологические преимущества гранулированной шихты полностью оправдывают затраты на установку и эксплуатацию дополнительного оборудования.

Одним из способов интенсификации стекловарения является применение гидротермальной шихты, которая обладает высокой дисперсностью, химической однородностью и чистотой. Плотность массы гидротермальной шихты в зависимости от химического состава составляет 500–700 кг/м^3. При влажности 20–25% и давлении 5–10 МПа без применения специального связующего можно получить шихту плотностью 1500–1700 кг/м^3 (брикетирование).

Механизм образования стекломассы из гидротермальных шихт отличается от механизма варки обычных стекольных шихт. В первом случае стадия силикатообразования завершается уже в процессе получения шихты, а растворение кварца в расплаве протекает иначе, чем при варке обычной шихты. Остаточный кремнезем в гидротермальных шихтах находится в тонкодисперсном состоянии и равномерно распределен в массе силикатных компонентов. Исследованиями и производственными испытаниями установлено, что варка гидротермальных шихт завершается на 3–4 ч раньше и при температуре на 200–300°С ниже, чем варка обычной шихты. Повышенная реакционная способность гидротермальных шихт обусловлена тем, что их основными составляющими являются аморфные гидросиликаты щелочных и щелочноземельных металлов в смеси с аморфным кремнеземом. Ускорению процесса стеклообразования способствует однородность гидротермальных шихт, а также присутствие в гидросиликатах связанных молекул воды, удаляющихся только в процессе варки. Таким образом, использование гидротермальных шихт повышает производительность стекловаренных печей и вместе с тем удлиняет межремонтные сроки их эксплуатации.

Предлагается также осуществлять в новых конструкциях стекловаренных печей предварительную термическую обработку отдельных компонентов, что в последующем ускорит процесс стекловарения.

Интенсификация стекловарения может быть достигнута путем раздельной подачи в печь шихты и стекольного боя. При загрузке смеси шихты и стекольного боя карбонат натрия первоначально взаимодействует с боем, что затрудняет образование из песка легкоплавкого метасиликата натрия. В результате не вступившие в реакцию зерна кварца должны растворяться в вязком расплаве силикатов, для чего требуется более высокая температура. При раздельной подаче в печь шихты и стекольного боя (загрузка шихты на подслой боя) повышенная температура варки интенсифицирует стекловарение.

Интенсификация стекловарения может быть достигнута также путем введения в состав шихты химических ускорителей.

Интенсифицирующим действием обладают и доменные шлаки, что объясняется присутствием в них сульфидной серы S^{2-}

Термические способы интенсификации. В интенсификации стекловарения большую роль играют процессы тепло- и массообмена в стекловаренных печах. Зависимость скорости стекловарения от интенсивности теплообменных процессов, характеризуемой уровнем температур в печи, выражается экспоненциальными уравнениями, что свидетельствует об исключительном влиянии температуры на процесс варки стекла. При повышении температуры варки от 1450 до 1620°С время стеклообразования сокращается почти в 5 раз (рис. III.9). Аналогичный характер носит зависимость от температуры скорости гомогенизации стекломассы в варочной части печи. Влияние температуры сказывается наиболее сильно в интервале температур стекломассы от 1500 до 1600°С, в котором кварц переходит в аморфную форму.

Пути интенсификации процесса теплообмена заключаются прежде всего в совершенствовании методов сжигания топлива и конструкции горелочных устройств для создания равномерного по ширине печи направленного излучения на шихту и стекломассу, в повышении излучательной

3 — Зак. 1068

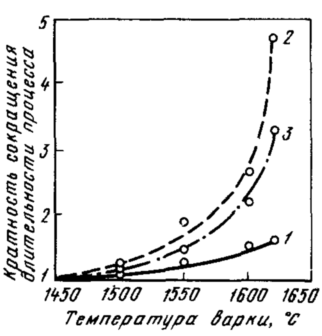
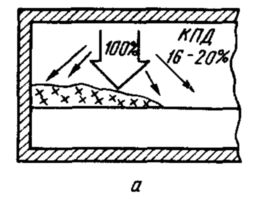
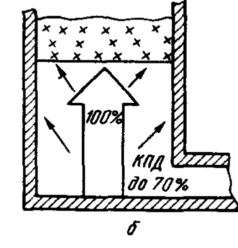


Рис. III.9. Ускорение процесса варки стекла при повышении температуры:
1 – силикатообразование; *2* – стеклообразование; *3* – суммарный процесс стекловарения





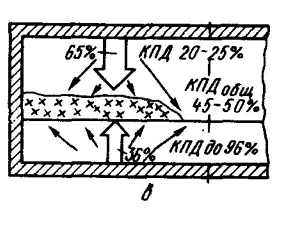


Рис. III.10. Сравнительная эффективность пламенного (*а*), электрического (*б*) и пламенно-электрического обогрева (*в*) шихты в стекловаренных печах

способности и температуры факелов, приближении их к поверхности шихты и пены. Интенсификация теплообмена увеличивает тепловоспринимающую поверхность шихты и пены. Положительную роль играют расширение фронта загрузки шихты, подача ее на слой стекольного боя в виде поперечных гряд.

В то же время для печей высокой удельной производительности необходимо решать вопросы интенсификации провара шихты снизу, со стороны стекломассы.

Большую эффективность дает повышение температуры стекломассы в зоне варки путем электроподогрева, позволяющего сочетать подвод добавочного тепла с действием усиленного конвекционного обмена. Электроподогрев наиболее эффективен при варке стекол малой теплопрозрачности, а при варке бесцветных стекол – при большой относительной длине зоны варки и высоких тепловых напряжениях в районе квельпункта. В этом случае стекломассе, имеющей высокую температуру, трудно передать излучением тепло сверху, а тепло, полученное от электроподогрева внутри расплава, с меньшими потерями переносится конвекционными потоками под шихту. Оптимальный удельный расход электроэнергии составляет 0,25–0,4 кВт·ч на 1 кг стекломассы, или 0,6–0,7 кВт·ч на 1 кг стекломассы, дополнительно полученной за счет электроподогрева. Сравнительная эффективность различных способов обогрева шихты в стекловаренных печах показана на рис. III.10.

Удельные съемы стекломассы при дополнительном электронагреве повышаются от 20 до 100%. При комбинированном отоплении и высокой температуре стекломассы (1550–1600°С) для тарного стекла вполне достижимы съемы до 3,5 т/м^2 в сутки. В электрических печах, особенно в печах с вертикальными потоками стекломассы, с площади зоны варки,

полностью покрытой шихтой, удельный съем составляет более 5 т/м^2 в сутки.

Преимущества электрической варки по сравнению с пламенной могут быть показаны на примере печей для варки свинцового хрусталя производительностью 6–8 т в сутки.

	Пламенная печь	Электрическая печь
Площадь варочной части печи, м^2	19	2,4
Тепловыделения от варочной части печи, кВт	784	51
Удельный съем стекломассы, т/м^2 в сутки	0,405	До 3,4
Удельный расход тепла на варку стекла, кДж/кг	23150	3960
Коэффициент полезного действия, %	8,5	50

При дальнейшем развитии и совершенствовании технологических процессов производства стеклоизделий термические способы интенсификации стекловарения будут играть ведущую роль.

Гидродинамические способы интенсификации. Эти способы заключаются в перемешивании для ускорения взаимодействия компонентов расплавов и гомогенизации стекломассы. Перемешивание увеличивает коэффициент массопередачи или константу скорости процесса вследствие замены молекулярной диффузии конвективной, т.е. снижения диффузионных сопротивлений, препятствующих взаимодействию компонентов. При перемешивании уменьшается толщина диффузионных слоев, в то же время, как правило, увеличивается поверхность соприкосновения реагирующих фаз.

Все сказанное в полной мере относится к процессу стекловарения. Если в традиционных стекловаренных печах процесс стекловарения проходит по мере оплавления горизонтально лежащего слоя шихты сверху, то уменьшение толщины слоя шихты, последующее перемешивание расплава силикатов и осветление в тонком слое могут значительно интенсифицировать стекловарение. Это нашло отражение в технологии прямоточного стекловарения. При осуществлении такой технологии шихта и стекольный бой сначала плавятся на плавильном откосе, в результате чего образуется расплав силикатов с нерастворившимися зернами тугоплавких компонентов шихты. Первичный расплав попадает в зону высокой температуры и перемешивания, которое осуществляется с помощью барботирования. Прореагировавший и усредненный расплав подвергается осветлению в тонком слое. Тонкий (20–30 см) слой стекломассы в зоне осветления позволяет более интенсивно прогревать его и способствует активному выделению газов.

Разработаны и широко применяются способы активизации процесса гомогенизации стекломассы в ванных печах непрерывного действия путем принудительного перемешивания для удлинения времени ее пребывания в зоне варки, активизации теплообмена по глубине стекломас-

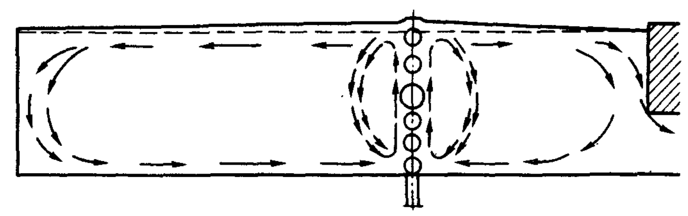


Рис. III.11. Схема потоков стекломассы в варочном бассейне ванной печи при бурлении

сы и в конечном счете повышения ее однородности. К числу таких способов относится бурление стекломассы с помощью сжатого воздуха или других газов. Наиболее эффективно применение бурления в прямоточных стекловаренных печах при производстве полых изделий. Изучение гидродинамики и массообмена в стекловаренных печах показывает, что бурление изменяет схему потоков стекломассы (рис. III.11) и вовлекает в активную циркуляцию почти весь ее объем в варочном бассейне печи. Бурление также интенсифицирует теплообменные процессы в стекломассе.

Разработаны способ и установка импульсного бурления (рис. III.12), которые по сравнению с непрерывным способом стабилизируют оптимальные параметры бурления.

Установка импульсного бурления работает следующим образом. Воздух под давлением 0,2–0,4 МПа по магистрали поступает в верхнюю полость корпуса, прижимает клапан, перекрывая тем самым коллектор. К соплам воздух при этом не подается. Часть воздуха из верхней полости корпуса по обводной магистрали поступает в ресивер, давит на поршень, который приподнимает клапан, и воздух начинает поступать в коллектор и к соплам. После подъема поршня на определенную высоту ресивер через отверстие соединяется с атмосферой, давление под поршнем резко падает, он опускается и клапан вновь перекрывает доступ воздуха в коллектор и к соплам.

С помощью механического задатчика и пневматического клапана устанавливается определенное число (6, 10, 14) импульсов в минуту.

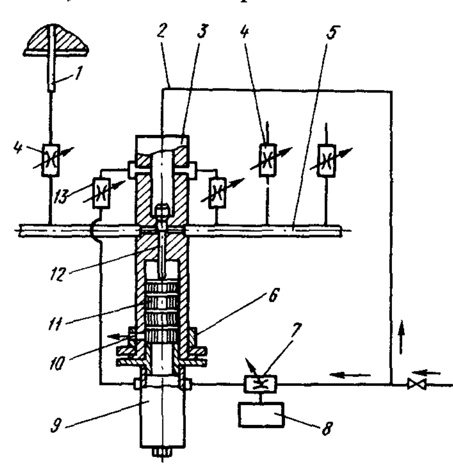


Рис. III.12. Схема установки для импульсного бурления стекломассы:
1 – барботажное сопло; *2* – магистраль сжатого воздуха; *3* – задатчик и дозатор импульсов; *4* – дроссельный вентиль; *5* – распределительный коллектор; *6* – кольцо; *7* – пневматический клапан; *8* – механический задатчик; *9* – ресивер; *10* – выпускное отверстие; *11* – поршень; *12* – клапан; *13* – дроссель

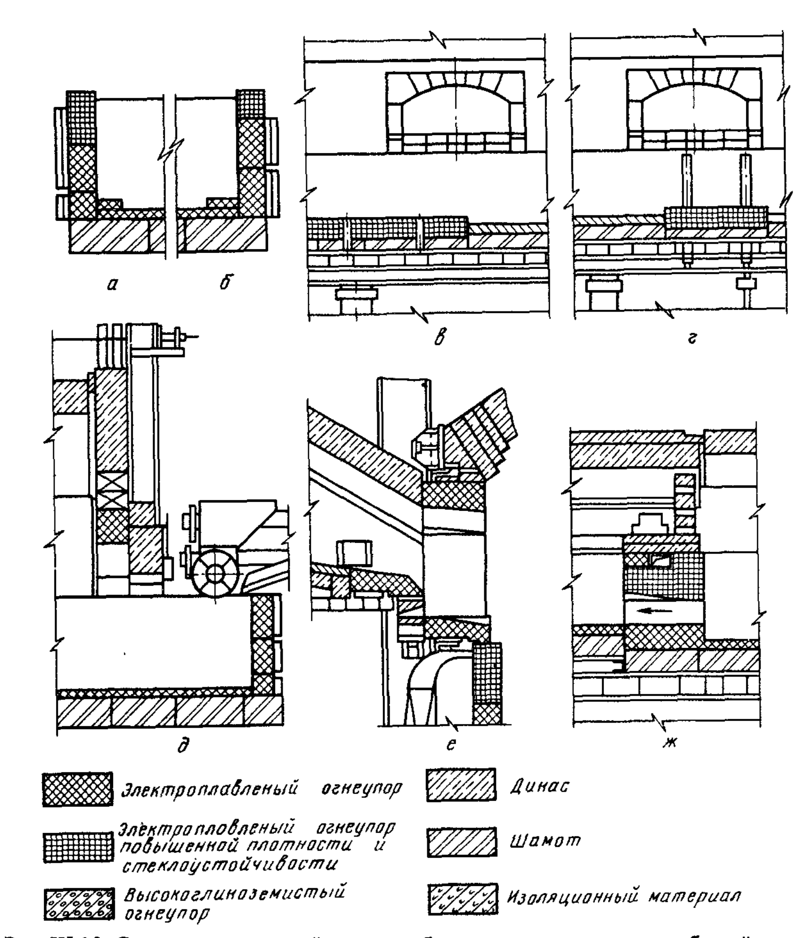


Рис. III.13. Схемы огнеупорной кладки боковых стен варочного бассейна стекловаренной печи в зонах варки (*а*) и максимальных температур (*б*), дна варочного бассейна в зонах бурления (*в*) и электроподогрева (*г*), загрузочного кармана печи (*д*), горелочного узла с нижней подачей топлива (*е*) и элементов протока (*ж*)

В установке предусмотрена световая сигнализация, которая позволяет осуществлять контроль за работой установки из комнаты стекловаров.

Применение бурления в ванных печах подтвердило его высокую эффективность. Бурление широко используется на стекольных заводах при изготовления узко- и широкогорлой тары. Наиболее эффективно сочетать бурление с электроподогревом.

Совершенствование конструкций стекловаренных печей. Позволяет реализовать преимущества ранее описанных способов интенсификации стекловарения. Большое значение для повышения эффективности стекловарения имеет рациональное применение огнеупорных материалов. Известно, что в большинстве случаев ванные стекловаренные печи оста-

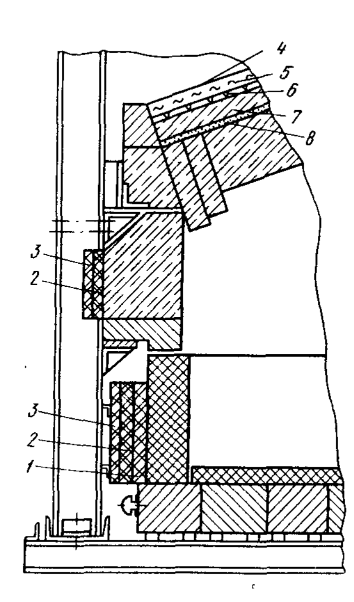
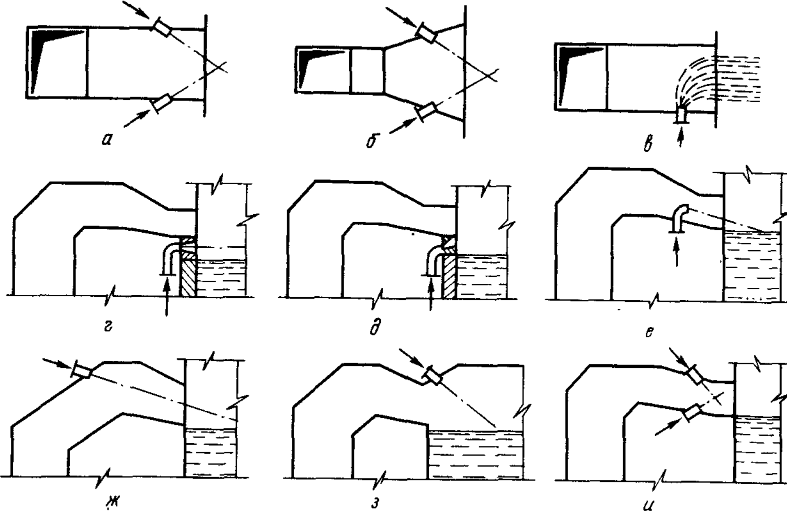


Рис. III.14. Схема эффективной теплоизоляции элементов стекловаренной печи:
1 – фосфатный ячеистый бетон; *2* – фосфатный керамзитобетон; *3* – фосфоперлит; *4* – алюминиевый лист; *5* – рулонное каолиновое волокно; *6* – уплотнительная огнеупорная обмазка; *7* – динасовый легковесный кирпич; *8* – кварцевая мука с песком

Рис. III.15. Способы подачи топлива в стекловаренные печи



навливают на холодный ремонт не из-за общего неудовлетворительного состояния огнеупорной кладки, а вследствие разрушений отдельных конструктивных элементов бассейна или верхнего строения. Как правило, это связано с выполнением таких элементов без учета свойств огнеупорных материалов, неудовлетворительными условиями их эксплуатации и конструктивным исполнением.

На рис. III.13 представлены схемы огнеупорной кладки конструктивных элементов, в основном регламентирующих длительность межремонтного периода ванной стекловаренной печи. Это не исключает теплоизоляции стекловаренных печей (рис. III. 14), которая позволяет повысить эффективность использования топлива.

Для эффективного осуществления процесса стекловарения в пламенных печах важно правильно сжигать топливо: факел должен быть энергетически плотным и достаточно изотермичным по длине и ширине. Указанным требованиям должны удовлетворять конструкции горелок и способ подачи топлива. В настоящее время применяют следующие способы подачи топлива в регенеративные ванные печи (рис. III.15): в щечки горелок (рис. III.15, *а–в*), нижний (рис. III.15, *г–е*), верхний в торцовую стенку шахтной горелки (рис. III.15, *ж*, *з*) и комбинированный (рис. III. 15, *и*).

Наиболее прогрессивным считается нижний подвод топлива, хотя положительных результатов можно достичь и при рациональном использовании других вариантов (рис. III.14, *в*, *з*, *и*). Варианты, показанные на рис. III.14, *ж*, *е*, не позволяют достичь нужного распределения температуры в печи и не рекомендуются к применению. При выборе варианта подвода топлива и конструкции горелок необходимо учитывать, чтобы расход топлива был минимальным.

С повышением удельных съемов стекломассы в традиционных ванных печах увеличивается покрытие зеркала стекломассы шихтой и пеной, в связи с чем уменьшается площадь зоны осветления. В связи с этим требуется более точное регулирование температуры и конвекционных потоков, для чего можно применять пороги в варочной части и бурление стекломассы. Целесообразна установка по оси бассейна двух донных электродов перед протоком, которые создают спиральные потоки стекломассы, задерживающие непровар и отводящие его к боковым стенам. Уменьшение глубины ванны в зоне осветления печи позволяет ускорить выход пузырей из стекломассы. Важно для интенсификации стекловарения, особенно при высокой температуре, регулируемое охлаждение стекломассы до температуры выработки. В связи с этим целесообразно использовать проток с водяным регулируемым охлаждением. Установлено, что при отборе стекломассы на выработку через два протока вместо одного производительность зоны тонкослойного осветления возрастает. Эксплуатация двух протоков способствует выравниванию поля скоростей стекломассы в зоне осветления и повышению изотермичности стекломассы в выработочном бассейне.

Конструктивные изменения стекловаренных печей в ряде случаев существенно повышают эффективность стекловарения. Это можно показать на примере реконструкции одной из печей для производства сортовой посуды одного из стекольных заводов. В печи с подковообразным направлением пламени односторонняя загрузка шихты и боя приводила к неравномерному ее распределению по поверхности стекломассы, повышенному выносу шихты из рабочего пространства в левый регенератор. Горение газа было организовано так, что факел пламени не поддавался регулировке, теплоотдача к стекломассе была недостаточно высокой. Несмотря на сравнительно большой объем насадок регенераторов, приходящийся на единицу поверхности стекломассы, в целом они использова-

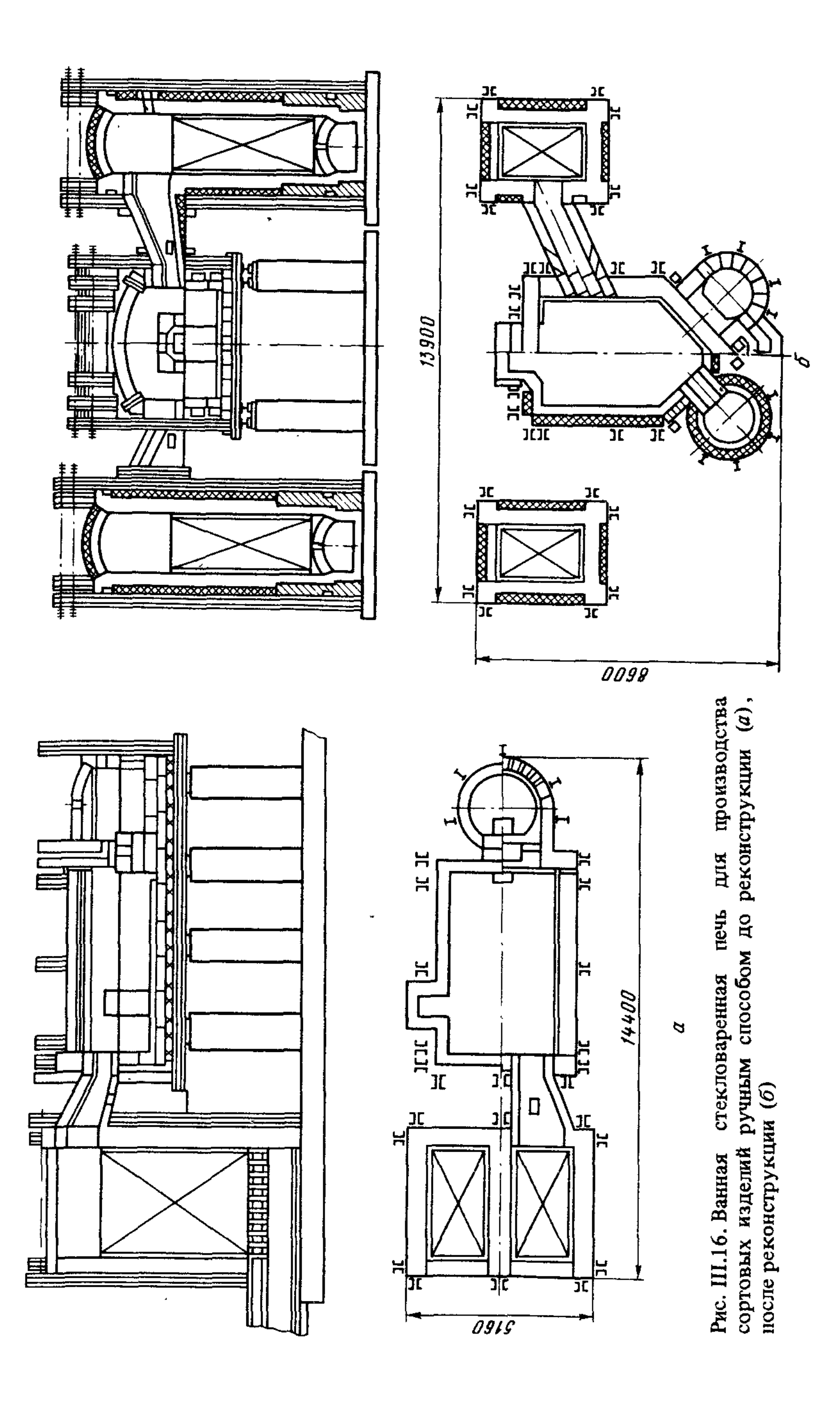


Рис. III.16. Ванная стекловаренная печь для производства сортовых изделий ручным способом до реконструкции (*а*), после реконструкции (*б*)

лись неэффективно. Из-за низкого удельного съема качество стекла было невысоким и ухудшало товарный вид продукции.

В результате реконструкции изменена конструкция печи, усовершенствованы способ сжигания топлива и кладка регенераторов, осуществлена теплоизоляция ряда элементов кладки.

Сравнение конструкций печи до и после реконструкции дано на рис. III. 16, технико-экономических показателей работы – в табл. III.3.

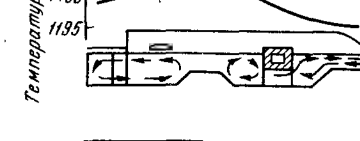
Таблица III.3. Сравнительные показатели работы стекловаренной печи

Показатель	До реконструкции	После реконструкции	Изменение, %
Площадь, м², части			
варочной	15,3	12,1	–21,2
выработочной	2,82	2,78	–0,04
Объем насадок регенераторов, м³	49,4	32,4	–34,5
Коэффициент стройности насадок	1,7	2,1	+23,5
Производительность, т в сутки	3,7	3,9	+5,4
Удельный съем стекломассы с площади зоны варки, кг/м² в сутки	242	323	+33,5
Расход топлива, м³/ч			
на варку	190	150	–21
на печь	280	230	–17,8
Удельный расход условного топлива на 1 т готовой продукции, кг	6126	4774	–22

К усовершенствованиям стекловаренных печей для производства сортовой посуды также относятся: порог в зоне осветления, рациональная (обычно круглая) форма выработочного бассейна с подъемом дна, организация перемешивания стекломассы. Порог и подъем дна выработочной части печи для производства изделий из свинцового хрусталя (рис. III.17) позволяют ликвидировать застойные зоны стекломассы на этих участках, уменьшают ее объем, а также снижают расход тепла в результате уменьшения конвекционных потоков. Расположенный в зоне температурного максимума порог создает благоприятные условия для гомогенизации и осветления стекломассы.

Существенно интенсифицируется процесс стекловарения свинцового хрусталя в электрических ванных печах.

Обобщение условий эксплуатации и конструкций ванных печей для производства сортовой посуды позволило выделить шесть основных типов печей (по производительности), наиболее часто применяемых на отечественных предприятиях (табл. III.4).



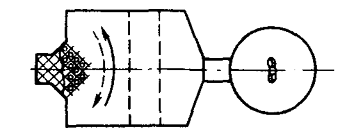


Рис. III.17. Схема усовершенствованной печи для варки свинцового хрусталя и распределение температуры по ее длине

Таблица III.4. Основные типы стекловаренных печей

Тип печи	Производительность, т в сутки	Вид стекла	Способ выработки
I	2–4	Свинцовый хрусталь, натрий-кальций-силикатное	Ручной
II	5–8		
III	10–14		
IV	17–20	То же	Ручной или механизированный
V	40–45	Натрий-кальций-силикатное	Механизированный
VI (секционные)	0,5–4	Цветное	Ручной

Необходимо отметить, что все печи будут иметь лучшие технико-экономические показатели, если их эксплуатировать с максимальной производительностью: 4, 8, 14, 20 и 45 т в сутки. Для варки и выработки цветных стекол рекомендуется трехсекционная печь производительностью 4 т в сутки.

В печах для варки свинцового хрусталя устанавливают удлиненные загрузочные карманы и одну или две пары горелок под углом к продольной оси печи в сторону протока. Такое расположение горелок позволяет избежать контакта шихты с пламенем и тем самым уменьшить улетучивание PbO.

Типизация стекловаренных печей по производительности и использование их рациональных конструкций позволит существенно снизить энергетические затраты. Так, расчетные удельные расходы топлива в печах типов I–VI составят, кг условного топлива на 1 кг стекломассы: I – 1,06; II – 0,78; III – 0,69; IV – 0,54; V – 0,39; VI – 1,57.

Новые высокопроизводительные способы стекловарения и новые конструкции стекловаренных печей. В связи с тем что процесс стекловарения в печах пока недостаточно эффективен, в нашей стране и за рубежом ведутся поиски высокопроизводительных способов варки стекла и новых конструкций стекловаренных печей.

Одно из направлений поиска заключается в интенсификации плавления агломератов шихты в высокотемпературном газовом потоке. В дальнейшем интенсивный провар и гомогенизация первичного вспененного расплава происходят в бассейне малой вместимости при активном лучистом и конвективном теплообмене со скоростным потоком пламенных газов с последующим осветлением в тонком слое. Такой способ варки осуществляется в установках с циклонной камерой (рис. III.18) и обеспечивает высокие удельные показатели при варке силиката натрия: расход тепла 4600 кДж/кг; тепловой КПД процесса 75,7%; удельный съем более 10 т/м^2 в сутки.

Ведутся работы по дальнейшему совершенствованию этого перспективного способа и соответствующих печных установок. В частности, разрабатываются технология фриттования гранулированной шихты с использованием тепла отходящих газов, новые конструкции установок и систем

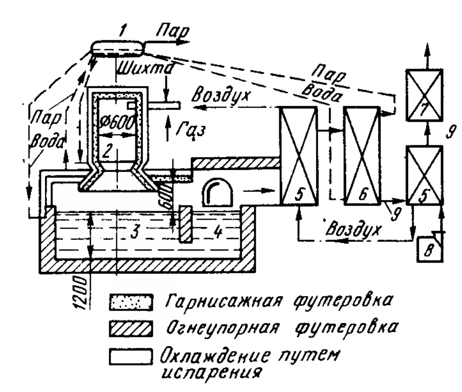


Рис. III.18. Схема установки с циклонной камерой:
1 – барабан-сепаратор; *2* – циклонная камера; *3* – приемный бассейн; *4* – выработочный бассейн; *5* – рекуператоры; *6* – котельный пучок; *7* – газоочистка; *8* – воздуходувка; *9* – дымовые газы

автоматического управления, изучаются возможности топливно-плазменного обогрева.

Другое направление интенсификации стекловарения – провар шихты в бассейне малой вместимости при активном массо- и теплообмене, создаваемом барботажем стекломассы продуктами горения газовоздушной смеси, сжигаемой в расплаве с помощью погруженных горелок. Сжигать можно или все топливо, необходимое для получения заданного количества стекломассы (конверторный способ), или же часть топлива, сохранив "верхний" обогрев печи (контактное сжигание).

Глава IV. ОКРАШИВАНИЕ, ГЛУШЕНИЕ И ОБЕСЦВЕЧИВАНИЕ СТЕКЛА

Окрашивание, глушение и обесцвечивание стекла имеют большое значение в производстве сортовой посуды и стеклянной тары. Если в производстве сортовой посуды цвет имеет декоративное значение, то, окрашивая стеклотару, стремятся задержать лучи коротковолновой части спектра, вредно влияющие на пищевые продукты. Глушение и обесцвечивание стекла можно считать разновидностями окрашивания.

Все эти процессы осуществляются при стекловарении путем ввода в шихту красителей, глушителей, обесцвечивателей. В последнее время все чаще применяется окрашивание сваренной стекломассы, для чего краситель вводят в стекломассу после варки в специальных устройствах.

§ 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕОРИИ ОКРАШИВАНИЯ

Известно, что поглощение света в видимой части спектра вызывает возбуждение электронов, изменяет их энергетическое состояние.

В зависимости от того, как располагаются электроны вокруг ядра, все атомы можно разделить на четыре группы:

1) атомы, орбиты которых заполнены электронами. Они не образуют химических соединений и не окрашивают. Эти инертные газы гелий, неон и др.;

2) атомы, последняя орбита которых не заполнена электронами. Они образуют химические соединения, однако их соли бесцветны, например атомы бария и стронция;

3) атомы, две орбиты которых не заполнены электронами. К ним относятся переходные элементы, например никель, кобальт, хром, железо, марганец и др. Их ионы окрашивают и вызывают поглощение света в видимой части спектра;

4) атомы, имеющие три незаполненные орбиты. Сюда относятся редкоземельные элементы, электроны которых могут переходить с одной внутренней орбиты на другую; на энергию этих электронов не влияют силы притяжения соседних атомов, поэтому поглощение энергии наступает только в очень узком диапазоне длин волн и возникает узкая полоса поглощения в видимой части спектра.

Таким образом, если в стекле содержатся атомы или ионы металлов третьей и четвертой групп в сочетании с ионами неметаллов (например, кислорода), то они поглощают свет с определенной длиной волны и соответственно окрашивают стекло. В окрашенных стеклах суммарное поглощенное излучение пропорционально концентрации окрашивающих частиц и каждое энергетическое изменение состояния электронов дает полосу поглощения, положение и форма которой определяются структурой стекла и окрашивающих частиц.

Стекло окрашивают красителями, создающими в стекле соответствующие центры окрашивания.

Ионные центры окраски создаются в стекле при введении ионов переходных или редкоземельных элементов. Между ионами различных валентных состояний в стекле устанавливается равновесие, на смещение которого в ту или иную сторону влияет температура варки, состав стекла, примеси поливалентных ионов, состав газовой среды в печи в процессе варки.

Повышение температуры варки смещает равновесие в сторону более низковалентных ионов, т.е. способствует их восстановлению. Повышение основности (путем увеличения концентрации R_2O) смещает равновесие в сторону ионов более высокой валентности.

В ряду щелочных оксидов Li_2O–Na_2O–K_2O максимальной основностью обладает K_2O. В ряду стеклообразующих оксидов P_2O_5 – B_2O_3–SiO_2 наиболее сильными кислотными свойствами обладает P_2O_5. В связи с этим в фосфатных стеклах ионы находятся в более низковалентных состояниях, чем в силикатных стеклах.

Окрашивающие соединения обычно находятся в стекле в одной или нескольких степенях окисления. В первом случае цвет стекла является устойчивым, практически не зависит от состава промышленных стекол и условий варки. К этой группе красителей относятся ионы никеля, кобальта, редкоземельных элементов. Во втором случае цвет стекла в значительной степени зависит от окислительно-восстановительных условий варки. К данной группе красителей относятся ионы хрома, марганца, железа, меди, ванадия.

На рис. IV.1 представлены кривые спектрального пропускания окрашенных стекол. Из рис. IV.1 видно значительное различие в окрашивании

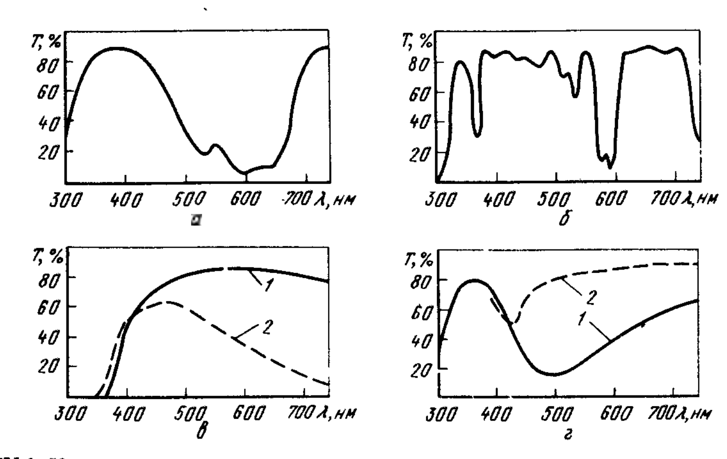


Рис. IV.1. Кривые спектрального пропускания стекол, окрашенных ионными красителями:
а – 0,1% CoO; *б* – 10% Nd_2O_3; *в* – 2% Fe_2O_3 (*1*) и 2% FeO (*2*); *г* – 2% $KMnO_4$ (*1*) и 10% MnO (*2*)

стекла ионами Fe^{3+} и Fe^{2+} соответственно в желтовато-зеленый и синевато-зеленый цвет. Резко различие в окрашивании ионами Mn^{3+} и Mn^{2+}: соответственно получается фиолетовое и бесцветное (слегка желтоватое) стекло.

Характер окрашивания стекол ионными красителями объясняется в настоящее время теорией поля лигандов. По этой теории свободный ион элемента (металла) рассматривается в окружении поля лигандов той или иной конфигурации (окрашивающий комплекс) и оптическое поглощение связывается с электростатическим воздействием поля лигандов на орбитали центрального иона. Например, синее окрашивание объясняется исходя из того, что ион Co^{2+} взаимодействует с тетраэдрически расположенными лигандами O^{2-}. Ионы Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cr^{3+} взаимодействуют с октаэдрически расположенными лигандами.

Молекулярные центры окраски создаются соединением тяжелых металлов с серой и селеном (например, FeS, CdS, CdSe), а также со смешанными сульфоселенидами (CdS·CdSe). Некоторые молекулярные красители образуют в стекле сложные соединения, а конечная окраска стекла достигается при его тепловой обработке (наводке). Так, при наводке селенового рубина происходят химические взаимодействия, при которых из ионов кадмия, сульфидных и селенидных комплексов образуются сложные молекулы сульфида и селенида кадмия. Причиной окрашивания молекулярными красителями является не рост кристаллов, а образование молекулярных окрашивающих центров (рис. IV.2).

Коллоидные центры окраски возникают в результате восстановления ионов до атомов металлов. Такие атомы являются центрами агрегатов, которые при тепловой обработке образуют коллоидные частицы. При размерах коллоидных частиц менее 5 нм получаются бесцветные стекла. При наводке происходит рост частиц. Частицы размером 70–100 нм

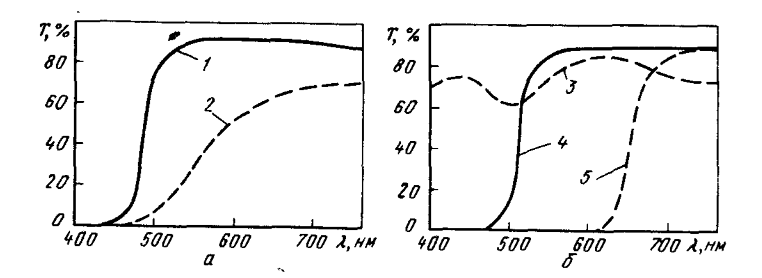


Рис. IV.2. Кривые спектрального пропускания стекол, окрашенных молекулярными красителями:

а – сульфидами; *б* – сульфоселенидами и селеном; *1* – CdS + S (желтое стекло); *2* – S^{2-} (янтарное стекло); *3* – Se (розовое стекло – розалин); *4* – CdS + Na_2SeO_3 (оранжевое стекло); *5* – CdS + Se + Na_2SeO_3 (красное стекло – селеновый рубин)

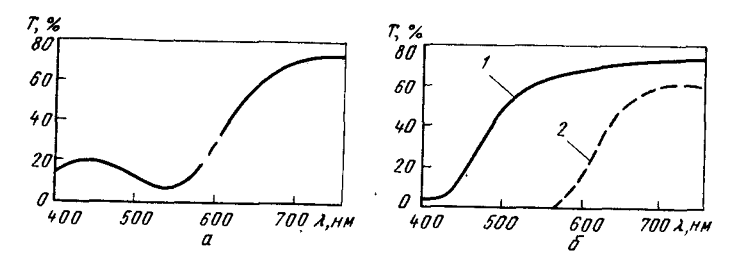


Рис. IV.3. Кривые спектрального пропускания стекол, окрашенных коллоидными красителями:

а – золотом (красное стекло – золотой рубин); *б* – серебром (*1*) и медью (*2*)

поглощают свет, причем золото окрашивает стекло в пурпурный цвет, серебро – в желтый, медь – в красный (рис. IV.3).

Радиационные центры окраски возникают в стекле под воздействием излучений, в результате которых разрываются химические связи. Разрушение этих центров может быть достигнуто как при нагревании, так и при длительном облучении монохроматическим светом.

Процесс окрашивания. Стекломасса окрашивается при растворении красителей в период варки. В первую очередь красители взаимодействуют со щелочными ионами. Механизм взаимодействия можно представить следующим образом. При "атаке" щелочными ионами расплава кристаллической решетки красителя происходит ее разрушение и переход элементов в расплав. При этом вокруг окрашивающего иона формируются комплексы из кислородных лигандов, которые и обусловливают окраску стекол. При варке силикатных стекол взаимодействие щелочного расплава с красителем идет параллельно со взаимодействием этого расплава с SiO_2 и другими компонентами шихты, причем выделяющиеся газы способствуют равномерному распределению окрашивающих комплексов в стекломассе.

§ 2. КРАСИТЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОКРАШИВАНИЯ СТЕКЛА

Ниже рассматриваются особенности окрашивания стекол ионными, молекулярными и коллоидными красителями.

Соединения никеля. Окрашивающие комплексы в стекле формируются вокруг иона Ni^{2+}, окрашивание практически не зависит от условий варки. Однако состав основного стекла сильно влияет на характер окраски. Так, калиевые стекла интенсивно окрашиваются в фиолетовый цвет, а натриевые – в желто-коричневый, интенсивность которого зависит от концентрации красителя. Для стекол, содержащих ионы никеля, характерно значительное поглощение излучения в инфракрасной области спектра. Соединения никеля используют в основном для получения дымчатого цвета.

Соединения кобальта. Носителем окраски являются комплексы с ионами Co^{2+}. Интенсивность синего цвета зависит от состава стекла и практически не зависит от условий варки. Калиевые стекла интенсивнее окрашиваются соединениями кобальта, чем натриевые. Для стекол, окрашенных ионами кобальта, характерно поглощение излучения в инфракрасной области спектра. В результате при варке стекло плохо прогревается, а при охлаждении быстро остывает с поверхности и твердеет, что требует создания специальных режимов варки и выработки.

Соединения хрома. Окрашивающие комплексы формируются вокруг ионов Cr^{3+} и Cr^{6+}, причем обычно преобладают комплексы с ионом Cr^{3+}, поглощающие свет при длинах волн 450 и 650 нм. На пропускание излучения в инфракрасной части спектра ионы хрома не оказывают существенного влияния. В свинцовых и натрий-кальций-силикатных стеклах с повышенным содержанием щелочных оксидов в большей мере преобладает Cr^{6+} и цвет изменяется с зеленого до зелено-желтого. Интенсивность окрашивания соединениями хрома высокая, однако растворимость этих соединений в стекле ограничена. При концентрациях ионов хрома в стекле выше 2% выделяются тонкие изумрудно-зеленые пластинки Cr_2O_3 и образуется хромовый авантюрин.

Соединения марганца. В стекле присутствуют ионы Mn^{2+} и Mn^{3+}. Ионы Mn^{2+} практически не окрашивают стекло, а ионы Mn^{3+} придают ему интенсивный фиолетовый цвет. Окраска проявляется интенсивнее в составах стекол с повышенным содержанием щелочных оксидов при окислительных условиях варки, пониженной температуре и повышенной концентрации красителя. Особенно влияют на цвет условия варки, поэтому трудность представляет получение слабой фиолетовой окраски.

Соединения железа. Окрашивающие комплексы формируются вокруг ионов Fe^{2+} и Fe^{3+}. Ионы Fe^{2+} окрашивают стекло в синевато-зеленый, а ионы Fe^{3+} – желто-зеленый цвет, причем поглощение Fe^{2+} примерно в 15 раз выше.

Для ионов Fe^{3+} максимум пропускания лежит в области 550 нм – максимальной чувствительности глаза. В инфракрасной области ионы Fe^{3+} поглощают меньше, чем ионы Fe^{2+}, в то время как в ультрафиолетовой части – наоборот. В присутствии серы и при восстановительных условиях варки происходит интенсивное окрашивание стекла сульфидами

железа. Окислители переводят Fe^{2+} в Fe^{3+}, что является основой химического обесцвечивания стекла.

Соединения ванадия. В стекле присутствуют ионы V^{3+}, $(VO)^{2+}$, V^{5+}. V^{5+} дает коричневую окраску с большим поглощением в ультрафиолетовой части спектра, а V^{3+} – зеленую с максимумом пропускания при длине волны 525 нм. При низких концентрациях оксида ванадия окраска стекла зеленая, а при содержании его более 5% – оливково-коричневая.

Соединения редкоземельных элементов. Практическое значение для окрашивания стекол имеют четыре элемента: церий, неодим, празеодим и эрбий. Для стекол, окрашенных ионами неодима, празеодима и эрбия, характерно поглощение света в узком диапазоне длин волн при высоком общем пропускании в видимой части спектра. Влияние состава стекла и условий варки на цвет незначительно.

Для ионов неодима характерна сильная полоса поглощения при длине волны 590 нм, которая делит спектр на две части: коротко- и длинноволновую. В зависимости от освещения цвет стекла меняется от сине-фиолетового до красно-фиолетового.

Соединения празеодима окрашивают стекло в светло-зеленый цвет, который изменяется в зависимости от примесей, особенно неодима.

Соединения эрбия придают стеклу устойчивый розовый цвет, интенсивность которого не зависит от условий варки.

При использовании соединений церия в стекле обычно присутствуют ионы Ce^{3+} и Ce^{4+}. Окрашивание вызывается присутствием Ce^{4+}, поглощающего излучение в ультрафиолетовой части спектра. Окислительные условия варки стекла повышают поглощение в ультрафиолетовой части спектра при высоком пропускании в инфракрасной части. Однако это поглощение вызывает желтоватое окрашивание. Как красители соединения церия самостоятельно не используются, а применяются в комбинации с оксидом титана (IV).

Соединеиия урана. Чаще всего окрашивающие комплексы формируются вокруг иона U^{6+} и окрашивают его в интенсивный желто-зеленый цвет. При варке в восстановительных условиях присутствуют ионы U^{4+}, которые окрашивают стекло в коричневый цвет. Для урановых стекол характерна флуоресценция.

Соединения молибдена. В силикатных стеклах окрашивающие комплексы молибдена связаны с ионом Mo^{5+}, которые достаточно устойчивы к восстановительным условиям варки. Ионы Mo^{5+} практически не окрашивают натрий-кальций-силикатное стекло, однако снижают светопропускание в видимой части спектра. При содержании в стекле 4% MoO_3 отмечается его заметное глушение. Слабое окрашивание соединениями молибдена происходит при электрической варке бесцветных стекол с применением молибденовых электродов, что нежелательно.

Соединения меди. При ионном окрашивании стекла наблюдается равновесие Cu^{+} и Cu^{2+}. Ионы Cu^{+} бесцветны, а причиной голубого окрашивания является присутствие в стекле ионов Cu^{2+}, имеющих максимум пропускания в области голубых лучей при длине волны 470–490 нм. Этот максимум расширяется при увеличении концентрации красителя. В свинецсодержащих стеклах максимум пропускания смещается в сторону

коротких длин волн. В инфракрасной области спектра стекла, окрашенные ионами меди, имеют выраженную полосу поглощения вплоть до 2,5 мкм. В ультрафиолетовой области спектра край полосы поглощения смещается в сторону более длинных волн.

Условия варки существенно влияют на характер окраски. При восстановительных условиях наблюдается окрашивание в коричневый цвет, что связано с выделением красителя в коллоидном состоянии, иногда вызывающего помутнение стекла.

Однако соблюдение определенных условий позволяет получить стекла красного цвета – медный рубин. Окрашивание в красный цвет осуществляется кристаллами меди размером 70–100 нм. Если размеры кристаллов значительны, то они могут выделяться в стекле в виде пластинок с характерным блеском – медный авантюрин.

Положительно влияют на получение красного цвета наличие в шихте оксида олова и восстановительные условия варки, а также использование стекол с повышенным содержанием SiO_2, B_2O_3 и BaO.

Соединения золота и серебра. Окрашивание золотом в красный цвет связано с наличием в стекле его кристаллов размером 5–60 нм. При охлаждении стекломассы золото выделяется в виде зародышей кристаллизации. При тепловой обработке размеры частиц золота увеличиваются, появляется окраска. На окраску влияют размеры и количество частиц. Золотой рубин в отличие от селенового или медного рубина характеризуется поглощением зеленых лучей (540 нм) и пропусканием синей и красной частей видимого спектра.

От состава стекла значительно зависит его конечная окраска. Предпочтительнее красить золотом свинцовые хрустали (24% PbO), хотя можно окрасить и бессвинцовые стекла с добавками 1–2% SnO_2 и при больших расходах красителя. Для 100 кг свинцовых стекол расход красителя составляет 1–8 г, а для бессвинцовых – в 2–3 раза больше. 0,5–1% оксида олова (IV), а также добавки CaF_2, Sb_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3 и Se благоприятно влияют на процесс наводки. Стекла варят в окислительных условиях при высоких температурах.

Окрашивание серебром в желтый цвет вызвано образованием его коллоидных частиц размером 30–60 нм. Для окрашивания серебром характерен минимум пропускания синих лучей. Интенсивная окраска возникает при добавках 70–80 г $AgNO_3$ на 100 кг стекла. Растворимость серебра в стекле низкая, однако присутствие до 0,5% оксида олова ускоряет этот процесс. Целесообразен состав основиого стекла на свинцовой основе, в качестве добавок применяют Sb_2O_3. Условия варки слабовосстановительные.

Соединеиия серы. Окрашивают стекло сульфиды металлов (FeS, CdS, Sb_2S_3), которые дают коричневый, желтый и красный цвета (окрашивающие комплексы с серными лигандами).

Сульфид цинка плохо растворим в стекле, на его основе получают сульфидно-цинковые стекла. Стекла, окрашенные сульфидами железа, называют янтарными. Устойчивая янтарная окраска получается при варке стекол в восстановительных условиях и при повышенном содержании щелочных

оксидов. В шихту вводят сульфат натрия и углерод. Широко используют в качестве компонента также сульфоуголь.

Яркий желтый цвет стеклу обеспечивает сульфид кадмия. Кривая светопропускания характеризуется полным поглощением коротковолновой части спектра и значительной крутизной. Коротковолновой край полосы поглощения может перемещаться в диапазоне длин волн 380–500 нм в зависимости от состава стекла и режима тепловой обработки. Цвет стекла при окрашивании сульфидом кадмия сильно зависит от содержания примесей, особенно железа. Более яркие тона получаются при наличии в стекле оксидов бария, калия и цинка. Последний обеспечивает воспроизводимые при варках оттенки, так как стабилизирует содержание серы в стекле.

При наводке цвет усиливается, что объясняется следующим образом: при нагревании вязкость расплава снижается, создаются условия для образования из ионов кадмия и серы молекул CdS, которые окрашивают стекло в желтый цвет.

Можно получить стекло красного цвета за счет молекул сульфида сурьмы. Окраска появляется при наводке и известна под названием "сурьмяный рубин". Для варки в качестве основного состава рекомендуются натрий-калий-кальций-силикатные стекла. Вводить PbO, ZnO в стекло не рекомендуется из-за образования PbS и ZnS, которые влияют на окраску.

Соединения селена. Поведение селена в стекле имеет сходство с поведением серы, однако он может находиться в стекле при нейтральных и слабоокислительных условиях варки в элементарной форме. Селен присутствует также в формах Se^{2-} (селениды), Se^{4+} и Se^{6+} (бесцветные селениты и селенаты).

Следует отметить, что в стекле происходит интенсивное взаимодействие селенидов с ионами тяжелых металлов (так же, как и сульфидов), что приводит к появлению интенсивного черного и коричневого цветов (NiSe, CoSe, FeSe).

Элементарный селен вызывает розовую окраску и имеет два максимума поглощения в видимой части спектра: при длине волны 500 и 750 нм. Розовая окраска изменяется при изменении температуры.

Состав стекла оказывает большое влияние на цвет. Так, цвет калиевых стекол более розовый, чем натриевых, а цвет свинцовых изменяется от светло-желтого до интенсивного золотистого, вызванного образованием PbSe. В стекле растворяется 0,04–0,05% Se. При увеличении содержания селена розовый цвет не становится более интенсивным, происходит выделение селена в виде пузырей (температура плавления селена 220° С, температура кипения 680° С).

При одновременном действии сульфида кадмия и селена стекло окрашивается в оранжевый или красный цвет (селеновый рубин). Причиной окраски стекла является присутствие смешанных кристаллов сульфоселенидов кадмия (CdS·CdSe). Цвет стекла зависит от химического состава кристаллов и не зависит от их размеров. Этим цвет селенового рубина значительно отличается от цвета стекла, получаемого при коллоидном

окрашивании золотом, медью. Влияние состава кристаллов CdS·CdSe на цвет стекла показано в табл. IV.1.

Увеличение содержания CdSe в составе смешанных кристаллов приводит к смещению длинноволнового края полосы поглощения в сторону красных лучей.

Таблица IV.1. **Влияние состава кристаллов на цвет стекла**

Цвет стекла	Соотношение кристаллов, %		Длина волны, нм, края полосы поглощения
	CdS	CdSe	
Желтый	100	0	470
Оранжевый	75	25	550
Красный	40	60	620
Темно-красный	10	90	700

На окрашивание влияют основной состав стекла, добавки к шихте, процесс наводки, соотношение красителей. Оранжевый и красный цвета получаются при наличии в стеклах 4–14% оксида цинка, который удерживает в стекле сульфидные и селенидные ионы. При более высоких температурах наводки преобладает темно-красный цвет. В процессе варки поддерживаются восстановительные условия, которые стабилизируются добавкой к шихте восстановителей.

Комбинации красителей. При производстве цветного стекла используют сочетания красителей. Ответственным моментом является выбор красителей с учетом природы центров окраски и влияния различных факторов на окончательный цвет. Особенно важно учитывать возможные взаимодействия красителей друг с другом. Если нет химического взаимодействия окрашивающих оксидов, конечная окраска определяется суммой или смешением цветов отдельных красителей. Если присутствует два или более окрашивающих оксида с различной степенью окисления, то они влияют друг на друга в следующем порядке:

$$CrO_3 \rightleftarrows Cr_2O_3;\ Mn_2O_3 \rightleftarrows MnO;\ CeO_2 \rightleftarrows Ce_2O_3;$$

$$V_2O_5 \rightleftarrows V_2O_3;\ CuO \rightleftarrows Cu_2O;\ As_2O_5 \rightleftarrows As_2O_3;\ Sb_2O_5 \rightleftarrows Sb_2O_3;$$

$$Fe_2O_3 \rightleftarrows FeO.$$

Каждый предыдущий высший оксид (элемент высшей степени окисления) является окислителем последующего низшего оксида (элемента низшей степени окисления). CrO_3 окисляет любой следующий за ним низший оксид, восстанавливаясь при этом до Cr_2O_3. Например, получение чистого зеленого цвета, вызываемого Cr_2O_3, основано на следующем взаимодействии:

$$2CrO_3 + 3CuO_2O = Cr_2O_3 + 6CuO.$$

Mn_2O_3 окисляет все низшие оксиды, следующие за ним, но только CrO_3 может окислить MnO до Mn_2O_3:

$$2CrO_3 + 6MnO = Cr_2O_3 + 3Mn_2O_3.$$

FeO окисляется всеми предшествующими ему высшими оксидами:

$$4FeO + Sb_2O_5 = 2Fe_2O_3 + Sb_2O_3;$$

$$2FeO + 2CeO_2 = Fe_2O_3 + Ce_2O_3.$$

Когда комбинируются молекулярные красители друг с другом или с ионными красителями, на окраску влияют химические взаимодействия, например образование сульфидов, селенидов тяжелых металлов, чаще всего ухудшающих цвет. При подборе окрашивающих смесей необходимо проанализировать всевозможные взаимодействия и избежать тех процессов, которые ухудшают цвет и качество стекла.

§ 3. ОСНОВЫ ЦВЕТОВЕДЕНИЯ

Цвет – одна из характеристик света, воспринимаемая зрительно. Число различных воспринимаемых глазом оттенков цвета велико, трудно поддается учету, так как зависит от индивидуальных особенностей глаза, поэтому нет возможности дать наименование всем цветам. Одна из главных задач цветоведения – необходимость количественной оценки цвета.

Все многообразие цветов может быть получено путем смешения трех основных (взаимонезависимых): красного, зеленого и синего, взятых в определенных количествах. Так, для получения белого цвета смешивают одну единицу светового потока красного цвета, 4,6 единицы зеленого и 0,06 единицы синего. Выбранные в таком соотношении основные цвета являются **единичными**.

Дополнительными цветами называют такие, которые в сумме с данным цветом дают белый цвет. Например, дополнительными к синему цвету будут зеленый и красный. В то же время зеленый и красный цвета при смешивании образуют желтый цвет, который и будет дополнительным к синему. Для наглядного изображения цветов, образующихся при оптическом смешивании, удобно использовать равносторонний треугольник, в вершинах которого записывают основные цвета: красный К, зеленый З, синий С (рис. IV.4). Образующиеся при оптическом смешивании цвета записывают на сторонах треугольника (желтый = К + З, голубой = С + З, пурпурный = К + С). Как видно из рис. IV.4, цвета, расположенные в вершинах треугольника и соответственно на противоположных сторонах, являются дополнительными друг к другу (*С + Ж*; *З + П*; *К + Г*).

Излучение, к которому чувствителен глаз, лежит в интервале длин волн 400–800 нм. Цвета стекол, расположенные в этом диапазоне, приведены в табл. IV.2.

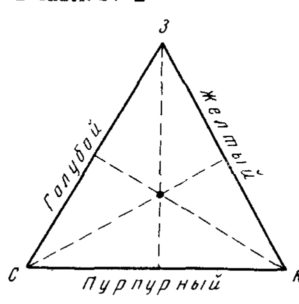


Рис. IV.4. Графическое изображение основных и дополнительных цветов

Глаз человека при одной и той же величине лучистой энергии по-разному воспринимает разную длину волн: он наиболее чувствителен к длинам волн средней части спектра (к желто-зеленым лучам). Для слабого света видность цвета смещена в сторону более коротких длин волн, поэтому

Таблица IV.2. **Диапазон поглощения светового потока и цвет стекла**

Спектральный диапазон поглощения, нм	Цвет поглощенной части спектра	Цвет стекла
400–450	Фиолетовый	Желто-зеленый
450–480	Синий	Желтый
480–490	Зелено-синий	Оранжевый
490–500	Сине-зеленый	Красный
500–560	Зеленый	Пурпурный
560–575	Желто-зеленый	Фиолетовый
575–590	Желтый	Синий
590–625	Оранжевый	Зелено-синий
625–750	Красный	Голубой

слабые синие и фиолетовые цвета выигрывают в интенсивности по сравнению со слабыми красными, оранжевыми и желтыми цветами.

Описанные выше положения имеют важное значение для оценки цвета, цветных оттенков окрашенных и бесцветных стекол, правильной организации обесцвечивания.

Тела, поглощающие свет избирательно (неодинаково все длины волн), имеют хроматические цвета, которые характеризуются интенсивностью, цветовым тоном, насыщенностью (чистотой цвета).

Интенсивность цвета характеризуется интенсивностью лучей, отраженных телом или прошедших через него. Интенсивность цвета стекла может быть оценена пропусканием в определенном диапазоне длин волн (по кривой спектрального пропускания).

Цветовой тон данного тела определяется длиной волны спектрального цвета, который вместе с определенным количеством белого света может произвести на глаз такое же цветовое ощущение.

Степень разбавления спектрального цвета белым светом характеризует **насыщенность, или чистоту, цвета.** Количественно чистоту цвета выражают отношением яркости монохроматической составляющей B_λ к яркости смеси:

$$P = B_\lambda / B_\lambda + B_0,$$

где P – чистота цвета; B_0 – яркость белой составляющей.

Если $B_0 = 0$, то $P = 1\,(100\%)$, в этом случае получают цвет полной насыщенности (спектральный цвет без разбавления его белым светом). Если $B_0 \gg B_\lambda$, то все цвета малонасыщенны (практически трудно различимы).

Если тела имеют одинаковые цветовой тон и насыщенность, то у них одинаковая цветность. Цветность является качественной характеристикой цвета. Тела имеют одинаковый цвет в том случае, если у них одинаковые все цветовые характеристики: цветовой тон, насыщенность и интенсивность. Таким образом, для полной характеристики цвета необходимо знать длину волны λ данного цвета (цветовой тон), пропускание τ при данной длине волны, насыщенность или чистоту цвета P.

Для количественной оценки цвета применяют систему координат, в основу которой положен аддитивный способ смешения цветов. Наиболее

удобен способ изображения цвета в прямоугольных координатах на плоскости. Здесь любой реальный цвет может быть получен смешением белого цвета с некоторым спектральным в определенных количествах. Необходимые данные снимают со спектральной кривой, получаемой на спектрофотометре. Координаты цвета можно определять на колориметрах различных типов.

§ 4. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

Выбор красителя зависит от вида и назначения изделий. В производстве сортовой посуды красители для стекла выбирают в зависимости от эстетических требований к изделию, в производстве светофильтров – в зависимости от пропускания света определенных длин волн, в производстве стекол, имитирующих драгоценные камни, – в зависимости от точности воспроизведения их цвета. В производстве стеклянной тары красители должны надежно защищать пищевые продукты от воздействия коротковолновой части спектра, а также быть недефицитными и иметь низкую стоимость. В то же время красители должны обеспечить хорошие технологические свойства стекол при их варке и выработке изделий.

Рассмотрим некоторые вопросы выбора эффективных красителей на примере стекол, имитирующих драгоценные камни. Наряду с воспроизводством цвета драгоценных камней стекла должны иметь высокую светопрозрачность и высокий показатель преломления, быть достаточно твердыми и химически устойчивыми. За бесцветную основу стекол выбраны стекла системы K_2O–PbO–SiO_2 с добавками Na_2O, ZnO и Al_2O_3 и содержанием PbO 10–30%. В качестве красителей стекла наиболее целесообразен выбор соединений редкоземельных элементов, которые обеспечивают своеобразный цвет в сочетании с высокой светопрозрачностью и чистотой тона, изменение цвета в зависимости от освещения и толщины изделия, флуоресценцию, устойчивость к соляризации. Спектральные свойства стекол, окрашенных оксидами редкоземельных элементов, стабильны, мало зависят от состава, режимов варки стекла и выработки изделий. Наибольшее распространение в качестве красителей нашли соединения неодима, церия, празеодима, эрбия. Применение соединений редкоземельных элементов как отдельно, так и в сочетании с другими красителями позволило получить имитацию топазов, аметистов, рубинов и других камней.

В производстве сортовой посуды красота и своеобразие изделий достигаются в том случае, когда их форма и способ декорирования органически сочетаются с функциональным назначением. Поэтому при изготовлении окрашенных изделий каждого вида подбор красителей нужно осуществлять с художественно-эстетических позиций.

Весьма важен выбор красителей в производстве окрашенной стеклянной тары, в частности бутылок. Тарные стекла окрашивают, как уже отмечалось выше, для задержания лучей коротковолновой части спектра. Сильно влияет на сохранность пищевых продуктов излучение в ультрафиолетовой и видимой областях спектра до длин волн 500 нм. Световое излучение сильно воздействует на такие продукты, как молоко, растительные масла, соки, пиво, некоторые сорта вин, лекарственные препараты и др. Промышленные тарные стекла не пропускают излучение с длиной волны ниже 300 нм, что объясняется присутствием в стеклах оксидов железа. В то же время излучение с длиной волны выше 500 нм не оказывает вредного влияния на пищевые продукты. Следовательно, тарное стекло должно иметь максимальное поглощение в ультрафиолетовой, фиолетовой и синей частях спектра и хорошее пропускание в области длин волн более 500 нм. Одновременно с хорошей светозащитной способностью окрашенные тарные стекла должны обладать достаточно высокой химической устойчивостью, хорошими варочными и выработочными свойствами.

До начала 70-х годов бутылочные стекла окрашивали в зеленый цвет с помощью оксидов железа, количество которых доходило до 1,5%. Это отрицательно влияло на варочные, выработочные и эксплуатационные характеристики стекол и изделий.

После перехода заводов на изготовление изделий из хромсодержащих стекол благодаря улучшению их технологических свойств значительно улучшились качество изделий и показатели работы стеклоформующего оборудования.

Эффективность применения хромсодержащих стекол возрастает при использовании недефицитных красителей на основе феррохромовых шлаков. Одним из важнейших преимуществ этих красителей является то, что они представляют собой тонкодисперсный продукт, не требующий дополнительного дробления и помола в составных цехах стекольных заводов. Комплексный характер красителя позволяет экономить сырье, содержащее SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO. Вследствие уменьшения числа операций по обработке окрашивающих материалов в составном цехе высвобождаются рабочие, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда, создаются условия для полной механизации и автоматизации, сокращаются общий расход красителей и расходы на его приобретение.

Стеклянная тара, окрашенная в янтарный и коричневый цвета, получается в результате образования сульфидов железа. На отечественных заводах стекла янтарного и коричневого цветов получают, как правило, за счет избытка восстановителя, что создает значительные трудности при варке и осветлении, приводит к значительным потерям от боя и брака. Для получения стекол янтарного и коричневого цвета можно использовать доменный шлак, содержащий сульфидную серу. Применение доменных шлаков позволяет экономить сырьевые материалы, ускорить процесс стекловарения, уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу, стабилизировать процесс окрашивания.

§ 5. ОКРАШИВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ЦВЕТА СВАРЕННОЙ СТЕКЛОМАССЫ

При окрашивании стекла в ванных печах непрерывного действия возникают затруднения с изменением его цвета. Изменить цвет стекломассы непосредственно в печи можно двумя вариантами:

1) полностью слить стекломассу и сварить стекломассу требуемого цвета;

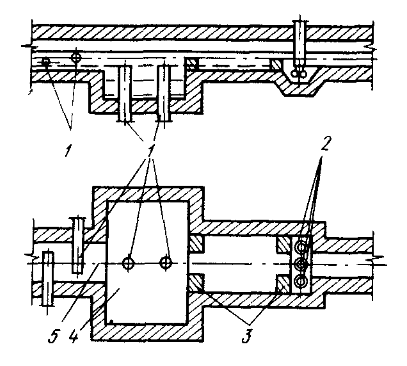


Рис. IV.5. Схема устройства для окрашивания стекла:
1 – электроды; *2* – мешалки; *3* – пережимы; *4* – зона термического перемешивания; *5* – зона загрузки красителей

2) постепенно переходить к варке стекла другого цвета при эксплуатации печи.

В первом случае наблюдаются значительные потери стекломассы и, следовательно, сырьевых материалов, нерационально расходуется топливо. В течение определенного времени продукция не выпускается, поэтому резко снижаются показатели работы печи и установленного оборудования, что увеличивает себестоимость продукции.

Во втором случае процесс перехода на варку стекла требуемого цвета занимает длительное время; кроме того, потребителя могут не удовлетворить промежуточные оттенки стекла. Таким образом, оба варианта изменения окраски сваренной стекломассы технически и экономически нецелесообразны, особенно когда необходимо быстрое и неоднократное изменение цвета.

В связи с этим оперативное изменение цвета необходимо осуществлять в специальном устройстве, примыкающем к ванной стекловаренной печи, в которой получается бесцветная стекломасса. Небольшой объем стекломассы в устройстве и применение средств активной гомогенизации (перемешивания) позволяют оперативно изменять ее цвет с минимальными потерями. Бесцветная стекломасса обычно окрашивается при механизированной выработке изделий и подаче ее через питатель. В связи с необходимостью окрашивания и изменения цвета стекломассы канал питателя удлиняют и оснащают дополнительными устройствами и приспособлениями (для электроподогрева, барботажа, пороги, мешалки и т.п.).

Существенно воздействуют на растворение красителей в сваренной стекломассе кроме температуры и перемешивания физико-химические факторы: гранулирование и фриттование красителей с применением активных компонентов. Легкоплавкие компоненты ускоряют растворение гранулированных красителей в расплаве. Окрашивающие фритты представляют собой легкоплавкие стекла с красителем высокой концентрации.

Окрашивание сваренной стекломассы (рис. IV.5) создает предпосылки для расширения ассортимента изделий, улучшения их качества.

Окрашивание сваренной стекломассы актуально и в производстве других видов изделий, особенно облицовочной плитки, которая может окрашиваться одновременно с глушением.

§ 6. ГЛУШЕНИЕ СТЕКЛА

Глушение можно определить как разновидность окрашивания стекла. Глушение вызывается частицами, выделяющимися из расплава при охлаждении или дополнительной тепловой обработке вследствие ограниченной растворимости некоторых веществ в стекле. Размер выделяющихся частиц значительно больше, чем при коллоидном окрашивании, поэтому рассеяние света преобладает над поглощением и пропусканием. В зависимости от размеров и количества выделившихся частиц можно получить эффект глушения от слабого (опаловые стекла) до интенсивного (молочные стекла).

Сами частицы бывают белыми или цветными. Примерами могут служить стекла, глушенные фторидами и фосфатами (белые частицы), хромовый и медный авантюрин (цветные частицы). Цветное глушение наблюдается также при укрупнении размеров частиц при коллоидном окрашивании стекла.

Глушение может быть достигнуто не только при образовании кристаллов в стекле, но и при его ликвации, т.е. при образовании неоднородностей во время расслоения.

Для получения сортовых стекол молочного цвета и накладных изделий используют глушение в основном фтором и фосфором, а также сульфидом цинка. На основе последнего созданы сульфидно-цинковые стекла различных окрасок. Процесс получения сульфидно-цинкового стекла можно схематически представить так:

$$ZnO + FeS = FeO + ZnS.$$

Сульфид цинка обладает ограниченной растворимостью в стекле, которая снижается по мере его охлаждения, способен выделяться при определенной концентрации и температуре в виде мелких кристаллов. Концентрации ZnS в стекле обычно составляют 1–4%. Цвет глушеного стекла может меняться от светло-опалового до белого, молочного с полосами, желтого и коричневого цвета (от сульфида железа). Часто такие изделия называют мраморовидными.

Для окрашивания глушеных стекол применяют такие же красители, как и для окрашивания прозрачных стекол. Так как окраска наблюдается в отраженном свете, то действие красителей в глушеном стекле отличается иногда от их действия в прозрачном стекле. Для получения глушеных стекол насыщенных цветов количество красителя должно быть больше.

§ 7. ОБЕСЦВЕЧИВАНИЕ СТЕКЛА

В ряде случаев качество изделий из стекла определяется в основном их колером и блеском. Это относится к изделиям из бесцветного свинцового хрусталя и натрий-кальция-силикатного стекла, но имеет значение и для стеклянной тары, например бутылок для водки. Изделия из бесцветного стекла могут иметь цветные оттенки и низкую светопрозрачность, обусловленные повышенным содержанием оксидов железа. Свето-

прозрачность бесцветного стекла или цветные оттенки (особенно зеленые, голубые или желтые) снижают качество изделий и в ряде случаев недопустимы, поэтому в производстве сортовой посуды и высококачественной бесцветной стеклотары большое внимание уделяют чистоте применяемого сырья и обесцвечиванию стекломассы.

Примеси сотых долей процента оксидов железа дают в зависимости от степени окисления желто-зеленый или сине-зеленый, а в присутствии серы – коричневый цвет. Соединения железа в стекле находятся в состоянии подвижного равновесия и могут в зависимости от условий переходить одно в другое:

$$Fe_2O_3 \rightleftarrows 2FeO + {}^1/_2 O_2 .$$

Условия равновесия зависят от состава стекла, температуры варки, наличия в стекле окислителей и восстановителей.

Повышение температуры сдвигает реакцию в сторону образования FeO и, наоборот, при понижении температуры в стекле увеличивается содержание Fe_2O_3. В присутствии окислителей или свободного кислорода реакция будет сдвигаться в сторону образования Fe_2O_3. Однако благодаря сравнительно большой вязкости стекломассы химические процессы протекают в ней весьма медленно, поэтому в стекле в зависимости от условий варки и производительности печи содержатся обычно оба оксида, но в различных соотношениях. При длительном выдерживании стекломассы соотношение оксидов железа определяется условиями равновесия (составом стекла и газовой среды, температурой).

Перевод соединений железа в оксидную форму (III), менее интенсивно окрашивающую стекло, может быть достигнут главным образом за счет окисления в процессе варки стекла.

Химическое обесцвечивание. В настоящее время получило широкое распространение обесцвечивание стекла химическими обесцвечивателями: оксидом мышьяка As_2O_3, селитрой (натриевой $NaNO_3$ и калиевой KNO_3), а также оксидами церия CeO_2 и марганца MnO_2.

При применении селитры значительная часть кислорода выделяется из нее еще до стадии стеклообразования и удаляется с печными газами:

$$2KNO_3 = K_2O + N_2 + 2{,}5O_2;$$
$$2NaNO_3 = Na_2O + N_2 + 2{,}5O_2.$$

Для рационального использования кислорода селитры, температура разложения которой составляет 300–400°С, одновременно с ней вводят в стекло оксид мышьяка As_2O_3. Обесцвечивающее действие мышьяка объясняется тем, что при сравнительно низких температурах As_2O_3 окисляется до As_2O_5 освобождающимся из селитры кислородом, а при высоких температурах диссоциирует с выделением свободного кислорода:

$$As_2O_5 = As_2O_3 + O_2.$$

As_2O_5 является достаточно устойчивым соединением. Благодаря окислительному действию соединений мышьяка равновесие между оксидами железа сдвигается в сторону образования Fe_2O_3. Но обесцвечивание стекломассы соединениями мышьяка имеет ряд недостатков. Так, при обесцвечивании стекломассы, содержащей 0,07% железа, количество

вводимых в шихту оксидов мышьяка становится настолько большим, что влечет за собой появление в стекломассе пузырей и "мошки" в результате выделяющегося при разложении мышьяка избыточного кислорода. Удаление из стекломассы пузырей и особенно "мошки" требует длительного времени. Кроме того, стекла, содержащие мышьяк, желтеют под действием солнечных лучей, теряют свою светопрозрачность (даже при кратковременном интенсивном облучении ультрафиолетовыми лучами). Нельзя забывать и то, что соединения мышьяка токсичны и ухудшают санитарно-гигиенические условия труда в составном цехе.

Для обесцвечивания стекла и получения стеклоизделий, устойчивых к действию различных излучений, применяют соединения церия. Оксид церия (IV) является сильным окислителем, переводящим железо из Fe^{2+} в Fe^{3+}.

Окисляющее действие оксида церия (IV) основано на реакциях

$$4CeO_2 = 2Ce_2O_3 + O_2;$$
$$2FeO + 1/2O_2 = Fe_2O_3.$$

Для обесцвечивания стекла оксид церия (IV) вводят в количестве, в 3–5 раз превосходящем количество находящихся в стекле оксидов железа. Рекомендуется вводить в шихту от 1 до 2 кг оксида церия (IV) на 1 т песка. С этим количеством оксида церия необходимо вводить от 5 до 10 кг селитры, тогда достигается почти полное химическое обесцвечивание стекломассы и требуется очень небольшая добавка физических обесцвечивателей.

Оксид церия (IV), введенный в шихту, одновременно с обесцвечиванием способствует осветлению стекломассы, т.е. удалению из нее пузырей. Количество CeO_2, необходимого для осветления, примерно то же, что и для обесцвечивания.

Физическое обесцвечивание. Сущность физического обесцвечивания заключается в том, что в состав стекла вводят небольшие количества специальных красителей, которые окрашивают стекло в цвет, дополнительный к цвету, создаваемому оксидами железа. Соединения железа окрашивают стекло в диапазоне длин волн 480–570 нм, т.е. в цвета от сине-зеленого до желто-зеленого. Ввод дополнительных красителей должен компенсировать эту окраску. Для подбора дополнительных цветов можно использовать табл. IV.1 и рис. IV.4.

Практически физические обесцвечиватели подбирают исходя из спектральных кривых пропускания (поглощения, оптической плотности) стекол, окрашенных оксидами железа и соответствующими красителями.

На рис. IV.6 показаны кривые оптической плотности стекол. На рис. IV.6, *г* показаны желательные формы кривых оптической плотности окрашенных стекол, в наибольщей степени отвечающие условиям нейтрализации окраски, вызываемой FeO (*1*) и Fe_2O_3 (*2*). Из рис. IV.6 следует, что при подборе обесцвечивателей максимальное поглощение света красителями должно происходить в той области спектра, где поглощение света, вызываемое оксидами железа, является минимальным. Этим обеспечивается принцип дополнительности цветов при обесцвечивании.

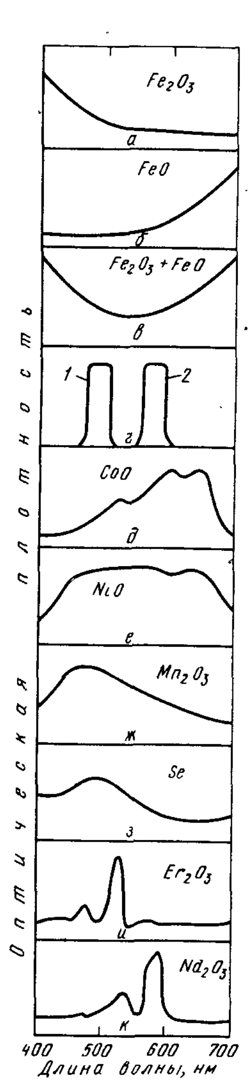


Рис. IV.6. Кривые оптической плотности стекол, окрашенных оксидами железа (*а* – *в*) и красителями, используемыми в качестве физических обесцвечивателей (*г* – *к*)

При использовании кривых пропускания стекол требования к подбору обесцвечивателей те же, но характер оценки их влияния противоположный.

Сопоставление спектральных кривых показывает, что оксиды кобальта и неодима применяют как обесцвечиватели при преобладании окраски, вызываемой Fe_2O_3, селен и оксид эрбия – при преобладании окраски, вызываемой FeO. Оксиды никеля и марганца имеют более универсальный характер. Для повышения эффективности обесцвечивания возможна комбинация красителей, например селена и оксида никеля, оксидов эрбия и неодима.

Применение физических обесцвечивателей всегда связано со снижением светопропускания стекла, в то время как при химическом обесцвечивании оно повышается. В качестве физических обесцвечивателей применяют селен и его соединения, оксиды никеля, кобальта, марганца, неодима и эрбия.

Селен является одним их основных обесцвечивающих материалов при варке бессвинцовых стекол для изделий бытового назначения. Розовая окраска, создаваемая в стекле элементарным селеном, компенсирует сине-зеленую окраску, получающуюся от примесей железа. Значительным преимуществом селена перед другими обесцвечивателями является сравнительно малое снижение общей прозрачности стекла. Отрицательным свойством селена является его значительная летучесть. Благоприятное влияние на обесцвечивание селеном оказывает оксид мышьяка (III) в присутствии селитры. Для предотвращения появления желтоватых и коричневых оттенков, вызываемых селенидом железа и полиселенидами щелочных металлов, при обесцвечивании селеном необходимо поддерживать нейтральные или слабоокислительные условия. В свинецсодержащих составах образуется оранжевый селенид свинца, поэтому для обесцвечивания свинцовых хрусталей селен не применяется.

Оксид никеля (II) придает калиевым стеклам фиолетовый цвет, который уравновешивает желтоватый оттенок, создаваемый оксидами железа. Оксид никеля применяют для обесцвечивания свинцовых и калиевых стекол и не рекомендуется для обесцвечивания натриевых стекол. Ионы никеля обладают высокой поглощающей способностью, поэтому при обесцвечивании оксидом никеля снижается общая прозрачность стекол и часто появляется серый оттенок. Оксид никеля является устойчивым

красителем и не требует создания специальных температурных режимов и условий варки.

Оксид кобальта (II), создающий синюю окраску, используют главным образом как дополнительный краситель для устранения желтоватого оттенка. Весьма интенсивный и устойчивый краситель, требует тщательной дозировки.

В последнее время в качестве обесцвечивающих материалов все шире применяют оксиды неодима и эрбия, которые окрашивают стекло в фиолетовый, пурпурный и розовый цвета, дополнительные к желто-зеленому, зеленому и их оттенкам.

Наиболее эффективно обесцвечивание, когда стекломасса окрашена слабо, а содержание обесцвечивателей выбрано в зависимости от состава стекла и условий варки. Обесцвечиватели необходимо тщательно отвешивать и обращать внимание на то, чтобы они хорошо распределялись в стекломассе. Для этого составляют обесцвечивающие смеси, в которые входят еще инертные материалы, вводимые в шихту в больших количествах (мел, известь, доломит и т.д.). При варке натрий-кальций-силикатных стекол готовят смеси: синюю – на основе оксида кобальта и красную – на основе элементарного селена или селенита натрия. Примером таких смесей могут служить смеси на основе карбоната натрия (количество материалов в граммах на 100 кг стекла):

красная: карбонат натрия 425, оксид мышьяка (III) 500, селен 60;

синяя: карбонат натрия 480, оксид мышьяка (III) 500, оксид кобальта (III) 30.

Известны смеси на основе мела:

красная: мел 6500, селен 200, карбонат никеля 300;

синяя: мел 960, оксид кобальта (III) 40.

Отвешенные материалы тщательно перемешивают. Количество смеси берут в зависимости от цветового оттенка стекла, сообщаемого ему примесями. Это количество устанавливают экспериментально и вводят в шихту перед ее смешиванием.

Иногда в сырьевых материалах имеются примеси хрома, которые придают стеклу заметные зеленые оттенки даже при содержании в количестве 0,001%. Чтобы компенсировать окраску, вызванную соединениями хрома, целесообразно подобрать красители, которые имеют максимальное пропускание в области длин волн, присущих соединениям хрома. Такими красителями могут быть оксиды неодима и эрбия, комбинации которых позволяют повысить качество и надежность обесцвечивания стекла, особенно свинцового хрусталя.

Ионы Nd^{3+} вызывают в стекле наряду с более слабой полосой поглощения в зеленой части спектра сильную полосу поглощения в желтой части. В результате при обесцвечивании стекла одним оксидом неодима, если содержание Fe_2O_3 превышает 0,015%, в стекле остается синеватый оттенок, который устраняется добавлением селена или оксида эрбия. При использовании оксида эрбия интенсивность окраски стекла примерно такая же, как и при применении оксида неодима, стекло не имеет остаточного голубоватого оттенка, следовательно, нет необходимости добавлять селен.

При использовании сульфата натрия в качестве компонента шихты возрастает возможность образования интенсивно окрашивающих сульфидных комплексов. Стекла, сваренные с применением сульфата натрия, имеют пониженное светопропускание по всему видимому спектру. При повышенном количестве сульфата натрия применяемый в качестве физического обесцвечивателя селен образует бесцветные селениты, его становится недостаточно для обесцвечивания, отчего у стекла появляются зеленоватые и голубоватые оттенки. Таким образом, уменьшение содержания в шихте сульфата натрия ведет к сокращению количеств применяемых физических обесцвечивателей, что улучшает светопропускание стекла.

При неправильном применении обесцвечивателей изделия при эксплуатации уменьшают прозрачность, приобретают цветные оттенки после воздействия солнечных лучей или кратковременного интенсивного ультрафиолетового облучения. Это явление называется **соляризацией.** Причина соляризации – в изменении степени окисления элементов. Соляризация наблюдается в изделиях, обесцвеченных и осветленных оксидами марганца, церия (более 4%) совместно с оксидом мышьяка. Явление соляризации можно объяснить образованием интенсивно окрашивающих соединений в соответствии со следующими реакциями ($h\nu$-квант излучения):

$$As_2O_5 + h\nu = As_2O_3 + 2O.$$

Образующийся атомарный кислород активно окисляет низшие оксиды марганца и церия:

$$4MnO + 2O = 2Mn_2O_3;$$

$$2Ce_2O_3 + 2O = 4CeO_2.$$

Соляризация стекол, содержащих оксид церия, усиливается при наличии в стекле небольших количеств оксида титана (IV). Уменьшить или устранить соляризацию можно правильным применением обесцвечивателей, минимальным вводом элементов с различной степенью окисления, особенно мышьяка. Протеканию указанных реакций препятствует также оксид свинца. Соляризацию можно также устранить нагреванием изделий до температуры 350–400°С.

Глава V. ФОРМОВАНИЕ СТЕКЛОИЗДЕЛИЙ

Формование – это процесс превращения стекломассы в стеклянные изделия различного назначения. При формовании тесно переплетаются явления теплопроводности, лучистого теплообмена и течения стекломассы, вязкость которой изменяется в широких пределах.

§ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМОВАНИЯ

Одной из особенностей стекол является их способность к постепенному твердению при переходе из расплавленного в твердое состояние. Основным свойством, определяющим этот процесс, является вязкость. В производственных условиях превращение расплавленной стекломассы в готовое изделие, происходящее в процессе формования, характеризуется непрерывным увеличением вязкости. Общий ход данного процесса во времени обусловлен двумя стадиями: формообразованием и фиксацией формы. На стадии формообразования пластичной стекломассе придают требуемую форму изделия. Поведение стекломассы при этом определяется ее реологическими и поверхностными свойствами, вязкостью, поверхностным натяжением, упругостью и характером изменения этих свойств с изменением температуры.

На стадии фиксации форма изделия закрепляется в результате твердения стекломассы, характер которого обусловлен видом изделия (стекла) и способом его охлаждения. Важную роль на указанной стадии формования играет изменение реологических свойств стекломассы при охлаждении, скорость ее охлаждения, зависящая от теплофизических свойств и условий окружающей среды, и скорость твердения стекла, обусловленная характером его охлаждения.

В общем виде процесс формования характеризуется следующими условиями:

$$\nu_1 \geqslant \nu_2 \text{ и } \tau_1 \leqslant \tau_2,$$

где ν_1, τ_1 – скорость и время формообразования; ν_2, τ_2 – скорость и время фиксации формы.

Практически формообразование изделия осуществляется значительно быстрее, чем фиксация его формы, поэтому в ходе формования обычно часть времени $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ затрачивается непосредственно на охлаждение и твердение изделий и в общем цикле формования помимо указанных стадий выделяется, как правило, особая технологическая стадия – охлаждение изделия. Затраты времени на нее в общем процессе непроизводительны, поэтому на практике стремятся максимально увеличить ν_2 и, следовательно, скорость охлаждения и твердения стекломассы при формовании и сократить за счет этого величину τ_2, которая определяет, по существу, общую продолжительность формования.

Основными характеристиками процесса формования стекла являются рабочий интервал вязкости стекломассы, соответствующий ему температурный интервал формования и время прохождения рабочего интервала вязкости (продолжительность формования).

Рабочий интервал вязкости устанавливает пределы изменения вязкости стекломассы при формовании до момента, когда внешний слой изделия затвердевает настолько, что препятствует деформации изделия. Следует отметить, что интервал вязкости в значительной степени зависит от условий технологического процесса и ограничивается применительно к различным способам формования. Однако эти границы являются также ориентировочными, так как могут существенно изменяться в зависимости от вида формуемых стеклоизделий. Например, если при прочих равных условиях рабочий интервал вязкости стекломассы при выдувании мелких изделий ориентировочно определяется в границах $5 \cdot 10^2 - 10^5$ Па·с, то для крупных изделий он соответственно увеличивается до $10^2 - 5 \cdot 10^6$ Па·с.

Температурный интервал формования выражает пределы изменения температуры стекломассы при прохождении рабочего интервала вязкости, изменяется в зависимости от химического состава стекла и определяется

кривой $\lg\eta = f(t)$. Время прохождения рабочего интервала вязкости характеризует продолжительность формования и определяется кривой $\lg\eta = f(\tau)$. На практике для регулирования продолжительности процесса формования и отдельных его стадий необходимо знать скорость твердения стекломассы и технологические способы ее изменения.

При формовании стеклоизделий решающее значение имеют химический состав стекла, вид формующих устройств и характер их контакта со стекломассой, температура формуемого изделия и формы, условия охлаждения. Каждый из этих факторов влияет на скорость твердения стекломассы, что в конечном счете определяет качество изделия и производительность стеклоформующих машин.

Наиболее сложным является процесс механизированного формования полых стеклоизделий на стеклоформующих машинах, который, как правило, протекает в несколько стадий – подача стекломассы, предварительное и окончательное формование, охлаждение. При механизированном формовании стеклоизделий к основным технологическим свойствам стекла – вязкости и скорости твердения – предъявляют довольно сложные требования. При механизированном формовании стеклотары при образовании капли вязкость не должна слишком быстро увеличиваться с падением температуры. При попадании в черновую форму и за время пребывания в ней вязкость стекломассы должна так же изменяться довольно медленно, с тем чтобы произошло оформление горла и пульки. В чистовой же форме после окончательного выдувания и выдачи изделия с машины вязкость и скорость твердения должны быстро увеличиваться, чтобы удержать внешнюю форму изделия от деформирования под действием сил тяжести и поверхностного натяжения.

Таким образом, для механизированного формования при выборе состава стекла и условий охлаждения приходится учитывать весь комплекс требований, определяющий в конечном счете скорость твердения стекла и, следовательно, производительность машин и качество продукции.

§ 2. СПОСОБЫ ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА

Комплекс физико-химических свойств стекла и особенно возможность изменения вязкости в широких пределах позволяет использовать разнообразные способы формования стеклоизделий. В настоящее время наиболее распространенными способами формования стеклоизделий являются прессование, выдувание, прессовыдувание, центробежное формование, вытягивание, прокатка, формование на подложке из расплавленного металла, моллирование, отливка, экструдирование.

В дальнейшем изложении подробно будут рассмотрены первые четыре способа формования (прессование, выдувание, прессовыдувание, центробежное формование), так как они широко применяются в производстве стеклянной тары и сортовой посуды. Ниже приведена вязкость стекломассы на отдельных операциях при различных способах формования стеклянной тары и сортовой посуды (табл. V.1).

Таблица V.1. Вязкость стекломассы ($\lg\eta$) на различных операциях

Способ формования	Формуемые изделия	Операция		
		Набор, подача капли	Передача пульки в чистовую форму	Выдача изделий
Выдувание с вакуумным питанием	Бутылки	2,2	2,9	4,8
Выдувание с капельным питанием	”	2,3	2,8	4,3
Прессование	Разного назначения	2,6–3,7	–	4,3–6,5
Прессовыдувание	Широкогорлая тара	2,8	4,4	7,1
Ручная выработка	Разного назначения	1,7–2,7	–	3–4,7*

*Оформление изделий.

Эти значения могут отклоняться в ту или другую сторону в зависимости от массы изделий, типа стеклоформующей машины и т.п.

Подготовка стекломассы к формованию

Подготовка стекломассы к формованию – один из важных и сложных процессов стекольного производства. При подготовке стекломассы к формованию должны быть обеспечены необходимая вязкость стекломассы, ее химическая и термическая однородность.

Из подготовленной к формованию стекломассы осуществляют ручной набор стекломассы и питание стеклоформующих машин (рис. V.1).

При организации рационального режима подготовки стекломассы к выработке следует учитывать, что ускоренное охлаждение может быть причиной ее термической неоднородности, которая в свою очередь приводит к нарушению процесса формования. Продолжительное же выдерживание стекломассы при температуре выработки может вызвать ее частичную кристаллизацию и массовый брак изделий. В связи с этим

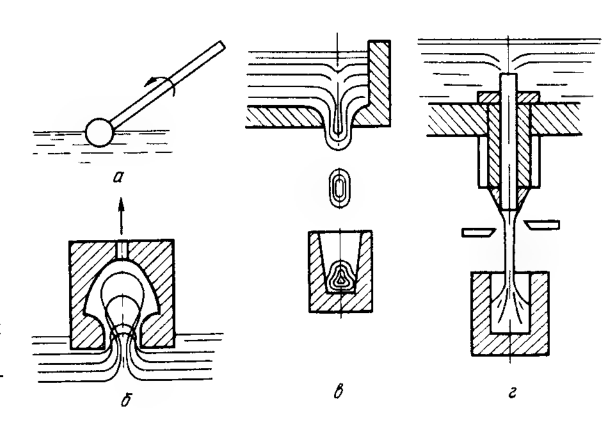


Рис. V.1. Схемы ручного набора (*а*), вакуумного (*б*), капельного (*в*) и струйно-порционного (*г*) питания стеклоформующих машин

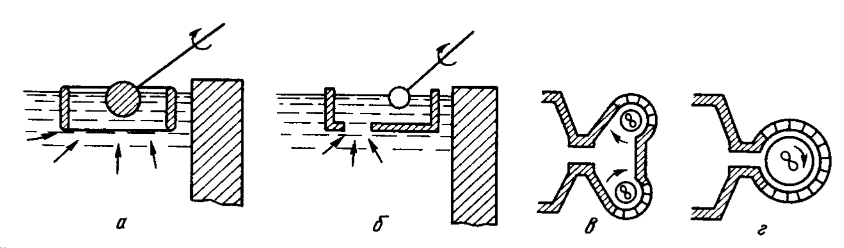


Рис. V.2. Устройства для подготовки стекломассы к ручной выработке изделий высокого качества

необходимо стремиться к тому, чтобы температура в выработочных устройствах была выше температуры кристаллизации стекломассы и созданы условия, предотвращающие длительное пребывание стекломассы в зоне опасных температур.

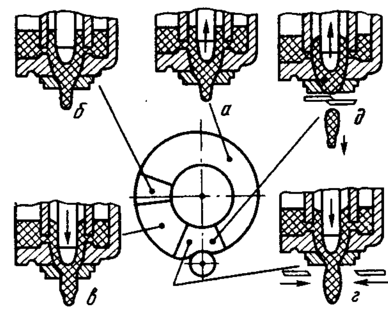
Подготовка стекломассы к ручной выработке изделий. При ручной выработке стеклоизделий после охлаждения стекломасса должна быть химически и термически гомогенной. Особенно это необходимо для ванных печей непрерывного действия при производстве изделий из свинцового хрусталя и борсодержащих стекол. Неоднородность стекломассы в виде свили в выработочном бассейне ванных печей появляется главным образом из-за попадания в стекломассу продуктов коррозии огнеупоров свода и бассейна выработочной части и изменения физико-химических свойств поверхностного слоя стекломассы вследствие испарения из него легколетучих компонентов (щелочных оксидов, оксидов бора и свинца). Для подготовки стекломассы к выработке изделий высокого качества используют защитные керамические кольца, кранцы и лодки (рис. V.2, *а*, *б*), устройства для перемешивания стекломассы (рис. V. 2, *в*, *г*).

Особенно эффективно перемешивание стекломассы в выработочном бассейне, которое и применяется в последнее время главным образом в производстве свинцовых и бариевых стекол. При этом рекомендуется заглублять мешалку не более чем на 6–7 см от поверхности стекломассы (глубина бассейна 900 мм) при частоте вращения 0,33–0,5 $с^{-1}$.

В выработочном бассейне стекловаренной печи может появиться неоднородность вследствие изменения поверхностного слоя стекломассы. Неоднородности и свили характерны для стекломасс, содержащих оксиды, улетучивающиеся при высоких температурах выработки. При улетучивании компонентов образуется поверхностный слой, обедненный этими компонентами и обладающий иными физико-химическими свойствами, чем основная часть стекломассы. Это прежде всего различная вязкость поверхностных и внутренних слоев стекломассы. Для усреднения вязкости стекломассы в выработочном бассейне можно применять глубинное и поверхностное перемешивание.

В последнее время высокохудожественные изделия из свинцового хрусталя вырабатывают с применением струйно-порционных питателей с отбором наиболее гомогенной стекломассы из средних слоев через платиновую обогреваемую трубку (см. рис. V.1, *г*). Нижний конец трубки

Рис. V.3. Процесс формирования капли в питателе при движении плунжера: вверх (*а*), останове (*б*), равномерном вниз (*в*), ускоренном вниз (*г*), ускоренном вверх (*д*)



расположен на минимальном расстоянии от приемной формы, находящейся на поворотном столе. Для получения необходимой порции стекломассы струя периодически при повороте стола прерывается с помощью ножниц.

Подготовка стекломассы к механизированной выработке изделий. Существует ряд типов устройств для питания питателей стеклоформующих машин. При вакуумном питании в стекломассу, находящуюся в выработочном бассейне печи, во вращающихся чашах, ботах и других устройствах, погружается черновая форма. Благодаря разрежению в полость черновой формы засасывается стекломасса (см. рис. V.1, *б*). При капельном питании стеклоформующая машина с помощью питателя обеспечивается порциями стекломассы в виде капель, подаваемых в формы с определенной скоростью (рис. V.1, *в*).

Процесс формирования капли в питателе представлен на рис. V.3. Питатель в заданном ритме должен выдавать в формы стеклоформующей машины порции стекломассы в виде капель, имеющих определенные параметры: температуру, вязкость, массу, объем и форму. Конструкция питателя должна обеспечивать возможность удобного регулирования в широких пределах как указанных выше параметров, так и скорости каплеобразования.

В связи с повышением требований к качеству изделий повышаются и требования к однородности стекломассы в питателе. Для усреднения стекломассы используются различные виды перемешивающих устройств Так, цилиндр питателя и ротор с лопастями используют для перемешивания стекломассы в чаше питателя. Эффективно дополнительно перемешивать стекломассу в канале питателя. Для повышения термической однородности стекломассы в питателе можно использовать электроподогрев. Дополнительные сведения о питателях приведены в гл. VII.

Прессование

Прессование – деформирование порции стекломассы в форме под давлением. Это наиболее простой одностадийный способ формования штучных стеклянных изделий с их полным оформлением формующим инструментом. Формование прессованием за один прием дает законченное изделие в одной форме.

Прессование может быть прямым и косвенным (литьевым). Прямым прессованием вырабатывают изделия, имеющие развитую внутреннюю полость (сортовую посуду, пустотелые стеклоблоки и др.).

Для производства изделий прессованием служат ручные, полуавтоматические и автоматические прессы. Схемы процессов ручного и автоматизи-

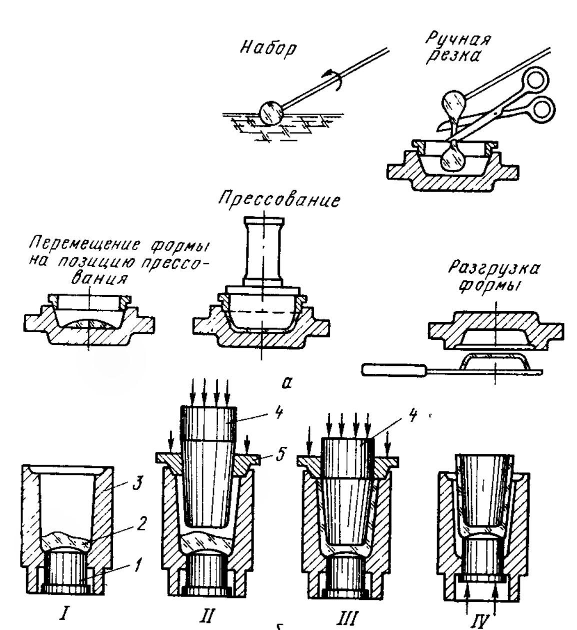


Рис. V.4. Последовательность операций при ручном (*а*) и механизированном (*б*) прессовании

рованного прямого прессования приведены на рис. V.4. Типичными деталями формового комплекта при выработке стеклянных изделий являются форма (матрица) для формования наружных очертаний изделий; керн (пуансон) для формования внутренних очертаний изделий, а также передачи на стекломассу прессующего усилия от соответствующего органа стеклоформующей машины; прессовое кольцо для замыкания камеры формования на участке между формой и керном и формования верхнего края изделий.

Прессовые машины работают следующим образом. В форму *3*, имеющую подъемное дно *1*, загружают порцию стекломассы *2* (позиция *I*). Пуансон *4* с формовым кольцом *5* находится в крайнем верхнем положении. В начале прессования (позиция *II*) пуансон опускается, формовое кольцо входит в кольцевой промежуток между внутренними стенками формы и пуансоном. Встречая на пути вязкую стекломассу, пуансон давит на нее, заставляет выжиматься вверх и распределяться в пространстве между рабочими поверхностями формы, пуансона и кольца (позиция *III*). Это пространство точно соответствует очертаниям готового изделия. Затем изделие выталкивается вверх (позиция *IV*) и удаляется из формы вручную или автоматически.

Прессующее усилие зависит от размеров и формы изделия и будет тем больше, чем больше диаметр и высота изделия и тоньше его стенки.

Несмотря на простоту устройства машины, которая по сравнению с другими автоматами стекольного производства не требует высокой квалификации обслуживающего персонала, этим способом трудно вырабатывать изделия сложной конфигурации, а также изделия, расширяющиеся книзу, имеющие выступы или углубления сложной конфигурации

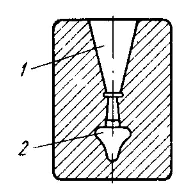


Рис. V.5. Форма для косвенного прессования изделий

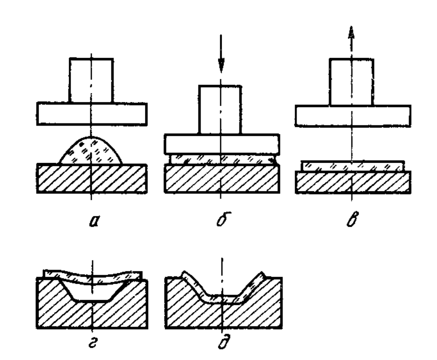


Рис. V.6. Схема прессования изделия в сочетании с моллированием:
а – подача стекломассы; *б*, *в* – прессование плоской заготовки; *г*, *д* – моллирование плоской заготовки в форме

на стенках, тонкостенные изделия из-за большой теплоотдачи стекла формующим поверхностям (тонкий слой стекла быстро остывает и теряет свою текучесть). Для получения ровной и блестящей поверхности изделий необходимы высококачественный формовой комплект и дополнительная тепловая обработка стеклоизделий (оплавление края и поверхности).

Косвенным прессованием вырабатывают бесполостные и массивные стеклянные изделия, не имеющие развитой внутренней полости (например, стеклянные пробки и т.п.). Формы имеют раздельные камеры прессования *1* и формования *2* (рис. V.5). В этом случае керн не является формующим инструментом, а служит только для передачи давления на формуемую стекломассу. Под давлением стекломасса из камеры прессования перемещается в камеру формования и плотно заполняет камеру формования, которой придана форма будущего изделия. В таком комплекте прессовое кольцо отсутствует. Масса капли здесь всегда должна быть больше массы изделия и излишек ее – неизбежный отход. С отпрессованного изделия удаляют излишки стекла и заправляют место отлома.

В последнее время косвенное прессование довольно широко применяют в производстве сортовой посуды для получения ножек рюмочных изделий, декоративных скульптур. Прессованием в сочетании с моллированием изготовляют художественные изделия. Предварительно прессуется плоская заготовка (иногда с рельефным рисунком). Далее заготовка нагревается до температуры размягчения и переносится в форму для моллирования, где она прогибается под действием собственного веса или небольшого усилия (рис. V.6). Край изделия можно оформлять вручную.

Выдувание

Выдувной способ широко распространен при изготовлении полых изделий разнообразной формы и назначения. При свободном выдувании стекломасса легко раздувается в виде сферического пузыря благодаря

вязкости и поверхностному натяжению. Если стекломассу раздувать внутри замкнутой формы, то она приобретает очертания внутренней полости формы. В этом и состоит выработка стеклянных изделий выдуванием. Выдуванием без труда можно получать тонкостенные изделия, какие не удается получать прессованием.

Ручное выдувание осуществляют с помощью стеклодувной трубки. Процесс выдувания состоит из следующих операций:

1) набор стекломассы на конец предварительно нагретой до температуры прилипания трубки-самодувки;

2) закатка набранной порции стекла на металлической плите или других специальных приспособлениях (катальниках или долоках) и выдувание баночки (при наличии металлической баночки или наборной головки эта операция отсутствует);

3) набор на баночку необходимого для выработки изделия количества стекломассы и раздувание так называемой пульки, приближающейся по конфигурации к изделию;

4) выдувание изделия заданной конфигурации и размеров.

При механизированном способе производства изделия выдувают сжатым воздухом на стеклоформующих автоматах. В настоящее время существует достаточно широкий парк выдувных стеклоформующих автоматов, производящих изделия разнообразного ассортимента. В зависимости от характера питания они могут быть с капельным питанием (полуавтоматы ВВ-2, автоматы АБ-6, АВ-6, IS-6, ВВ-7, S-10 и др.) и вакуумным питанием (автоматы ВВ-6, ВС-24 и др.).

Выдувание изделий можно осуществлять в положении дном вверх или вниз. На большинстве стеклоформующих автоматов с капельным питанием выдувание в черновой форме производится дном вверх, а в чистовой форме — дном вниз. На многих стеклоформующих автоматах с вакуумным питанием и черновое и чистовое выдувание осуществляется при положении дном вниз.

Различают также выдувание при неподвижном положении изделий в форме и при их вращении в форме. Иногда вращается не изделие, а форма. Выдуванием при вращении вырабатывают главным образом тонкостенные (бесшовные) изделия. При выдувании без вращения на изделиях обычно остаются следы стыков между деталями формового комплекта.

При выработке некоторых видов изделий вся формуемая стекломасса используется без отходов. Другие изделия можно получать только с так называемым колпачком, который требует последующего отделения, заправки края и дает неизбежный отход стекла.

Чтобы выдуть стекломассу, не требуется таких больших усилий, как при прессовании, поэтому давление 5–15 Па вполне достаточно для выработки большинства выдувных стеклянных изделий. Рационально выдувание стекломассы проточным воздухом. При этом воздух внутри изделия частично обменивается и сохраняется более холодным, внутренние стенки изделия лучше и быстрее охлаждаются, что повышает скорость работы машины и ее производительность. Применяют выдувание в чисто-

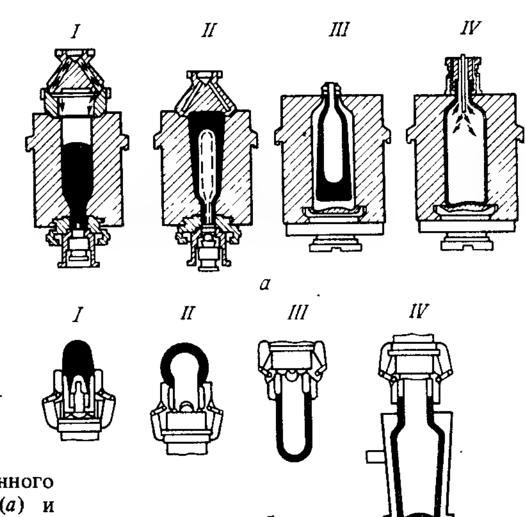


Рис. V.7. Схемы механизированного выдувания узкогорлой тары (*а*) и стаканов (*б*)

вой форме с помощью вакуума, который создается между формой и изделием. Тогда атмосферное давление в полости раздувает заготовку изделия.

Машинное формование полых стеклянных изделий выдуванием, как правило, сопровождается оформлением промежуточной (черновой) заготовки (пульки). В одних случаях черновая заготовка наиболее приближена к форме готового изделия, в других случаях значительно отличается от него (рис. V.7).

В первом случае (рис. V.7, *а*) в черновой форме после формования горла изделия *I* раздувается пулька *II*, которая передается в чистовую форму *III*, где и происходит окончательное выдувание готового изделия *IV*. Во втором случае (рис. V. 7, *б*) значительное место занимают элементы свободного формования: после вдавливания плунжера *I* происходит предварительное свободное выдувание *II*, поворот и вытягивание пульки *III* и, наконец, выдувание в форме *IV* с одновременным вращением трубки.

Прессовыдувание

Прессовыдувание изделий из стекла осуществляется путем прессования стекломассы пуансоном на первой стадии технологического процесса и выдувания изделия на второй стадии. Таким образом, прессовыдувной способ состоит из комбинации двух процессов: прессования и выдувания. Прессовыдувным способом вырабатывают, как правило, широкогорлые изделия (диаметр горла более 30 мм), однако за последнее время его применяют и для выработки узкогорлой тары: пищевой, парфюмерной, медицинской.

При формовании изделий прессовыдувным способом (рис. V.8) капля стекломассы поступает в черновую форму *3* (позиция *I*). Затем пуансон

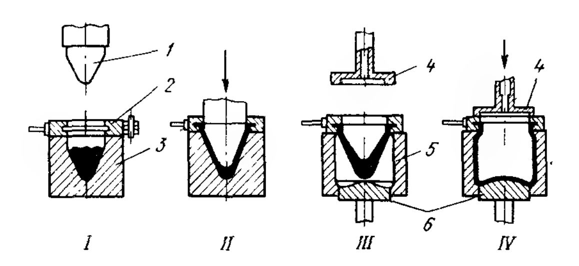


Рис. V.8. Схема прессовыдувного способа формования

1 прессует пульку с одновременным оформлением горла изделия (позиция *II*). После завершения прессования пуансон поднимается, а пулька в горловом кольце *2* передается в чистовую форму *5* с поддоном *6* (позиция *III*). Затем через плотно прижатую дутьевую головку *4* подается сжатый воздух (позиция *IV*), в чистовой форме завершается формование изделия.

Имеются конструкции машин, у которых пулька не перемещается, а отводится черновая форма и чистовая форма поднимается к пульке (выработка стаканов на машине "Гартфорд-28").

Черновые формы при прессовыдувном способе формования обычно неразъемные. Причем конфигурация их рабочей полости должна быть такой, чтобы предварительно отпрессованная пулька обеспечивала в чистовой форме равномерное распределение стекла в стенках изделия.

Прессовыдувание изделий широко распространено в стекольном производстве, так как обеспечивает равномерное распределение стекла в готовом изделии, позволяет вырабатывать легкую стеклотару, обеспечивает высокую производительность и качество изделий.

Центробежное формование

При формовании изделий центробежным стеклом используется центробежная сила быстровращающейся формы. В зависимости от размеров вырабатываемых изделий форма вращается с частотой 800–2100 мин$^{-1}$ (рис. V.9). В раскрывную или нераскрывную форму вручную или с помощью вакуума подается порция стекла *1*, которая под влиянием центробежной силы равномерно распределяется по внутренним стенкам формы *2* и точно воспроизводит ее конфигурацию. С увеличением частоты вращения возрастает центробежная сила, которая поднимает стекло до верхнего края формы. Продолжительность формования 10–15 с.

Характерным для данного способа является то, что он позволяет формовать изделия сложной конфигурации с гладкой блестящей внутренней поверхностью, так как при формовании она не соприкасается с металлической поверхностью. В этом заключается преимущество центробежного способа формования, и он все больше применяется при выработке линз Френеля, изделий из хрусталя с декорированием в процессе формования, деталей электронно-лучевых трубок, конических обтекателей и т.п. Кроме того, центробежный способ с успехом может заменить выдувной способ при формовании крупногабаритных изделий. В результате сокращается расход стекломассы (благодаря отсутствию колпачка), механизируется процесс выработки, отпадает необходимость в мастерах-выдувальщиках высокой квалификации, снижается себестоимость изделий.

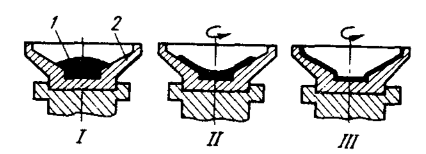


Рис. V.9. Схема центробежного способа формования изделий:
I – III – стадии формования

§ 3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СТЕКЛОФОРМУЮЩИХ АВТОМАТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Производство изделий из стекла является высокомеханизированным. В стекольной промышленности работают сложные высокопроизводительные стеклоформующие автоматы разнообразных конструкций.

Стеклоформующие автоматы должны обеспечивать:

высокую производительность, качество изделий и рентабельность производства;

легкую замену быстроизнашивающихся деталей и узлов, чтобы свести до минимума простои автоматов;

минимальное число регулировок, осуществляемых оператором при формовании изделий.

Стеклоформующие автоматы, применяемые в производстве стеклотары и сортовой посуды, можно классифицировать:

по способу формования – прессовые, выдувные, прессовыдувные и центробежные;

по способу питания стекломассой – с капельным, вакуумным и струйно-порционным питанием;

по конструктивным признакам – карусельные, секционные и конвейерные. Карусельные автоматы по характеру вращения столов разделяют на непрерывного (роторные) и цикличного действия, а по расположению столов и формового комплекта – на одно и многоярусные.

Дальнейшее совершенствование стеклоформующего оборудования должно осуществляться по двум направлениям. Это совершенствование применяемых стеклоформующих автоматов и разработка принципиально новых их конструкций, например конвейерного типа.

Совершенствование секционных и роторных автоматов будет заключаться в повышении надежности их работы, создании оптимальных условий работы и облегчении эксплуатации, увеличении числа секций.

Главными задачами совершенствования стеклоформующих автоматов является интенсификация их работы с улучшением качества изделий, повышение производительности за счет увеличения числа секций, применение многоместных форм, увеличение прессующего усилия, улучшение конструкций отдельных узлов и т.п.

Одним из крупных достижений в стеклотарном производстве явилась разработка прессовыдувного способа изготовления узкогорлой стеклотары, который впервые был применен на автоматах конвейерного типа. Усовершенствование этого способа позволило использовать его при фор-

мовании узкогорлой стеклотары на секционных автоматах, что повысило эффективность формования облегченных и надежных в эксплуатации изделий.

В настоящее время в производстве стеклянной тары эксплуатируются 10- и 12-позиционные роторные и 8–10-секционные автоматы. При этом на роторных автоматах используют одно- и двухместные формы, а на секционных – одно-, двух-, трех и четырехместные. Следует заметить, что с увеличением числа мест в одном блоке форм резко повышаются требования к стабильности параметров процесса выработки, и прежде всего химической и термической однородности стекломассы. Наивысший выход годной продукции дают пока двухместные формы, поэтому они наиболее широко применяются. В результате совершенствования технологического процесса и стеклоформующего оборудования становится возможным массовое производство облегченных изделий (при сохранении эксплуатационной надежности), что повышает производительность, экономит сырье и энергетические ресурсы.

§ 4. ФОРМОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Качество изделий из стекла, особенно состояние поверхности, в значительной мере зависит от материала, состояния и конструкции форм. Все формы для изготовления полых стеклянных изделий можно классифицировать:

по характеру производства – для ручного и механизированного;

по способу формования – прессовые, выдувные, прессовыдувные и вакуумные;

по конструкции – нераскрывные (цельные) и раскрывные (двух-, трех- и четырехстворчатые);

по материалу – чугунные, стальные, бронзовые, деревянные, а также комбинированные.

При механизированном, а иногда и при ручном производстве полых изделий применяют черновые и чистовые формы. Условия работы, в которых находятся разные формы и даже отдельные детали формовых комплектов, различны, поэтому к ним предъявляют различные технические требования.

В качестве материалов для стекольных форм используют серый чугун, низколегированный чугун с присадками хрома, никеля, титана, молибдена, меди, высокопрочный чугун с шаровидным графитом, легированные стали (30Х13, 40Х13, 1Х17Н2, 1Х18Н9Т и др.), цветные сплавы (алюминиево-никелевые бронзы).

При механизированном производстве изделий важно правильно установить форму на стеклоформующем автомате и прежде всего обеспечить соосность деталей формового комплекта (корпуса, плунжера, кольца и поддона). Несовпадение вертикальных осей и непараллельность горизонтальных плоскостей вызывают перекосы, быстрое и одностороннее изнашивание деталей, приводят к браку изделий.

Машинист стеклоформующего автомата должен поддерживать установленный температурный режим форм, регулируя воздушное или водяное охлаждение, не допуская формования изделий в холодных или

перегретых формах. Температурный режим форм зависит от химического состава стекла, типа автомата и других факторов. Не допускается эксплуатация форм, имеющих повреждения (трещины, раковины и т.п.), которые при работе быстро увеличиваются. Это затрудняет и усложняет ремонт, а чаще всего окончательно выводит формы из строя.

Большое значение при формовании изделий имеет технологическая смазка форм, которая снижает трение между стекломассой и рабочей поверхностью формы, повышает температуру прилипания стекломассы к форме, увеличивает интенсивность охлаждения форм и срок их службы, способствует улучшению качества изделий. Для этой цели применяют масляную графитовую смазку, приготовленную на основе минерального масла и природного малозольного графита или коллоидно-графитового препарата типа МС. На стекольных заводах смазку готовят путем разбавления коллоидно-графитового препарата маслом в соотношении 1 : 10. Смазка "Градис-М-42" содержит следующие компоненты, %:

Коллоидно-графитовый препарат на основе природного графита	6
Масло минеральное осевое (ГОСТ 610–72)	84
Канифоль основная марки К	5
Парафин нефтяной марки А или Б (ГОСТ 784–53)	5

Известны высококачественные зарубежные материалы "Клинмолд", "Кофраль" и другие для смазки форм.

При выработке прессованных изделий может быть использована силиконовая смазка. Для каждой стеклоформующей машины следует применять один вид смазки. Небрежное и беспорядочное нанесение на формы смазочных материалов ухудшает технологические свойства лаковой пленки, ведет к растрескиванию и отслаиванию ее от стенок формы, ухудшению качества изделий.

При выработке выдувных изделий с вращением на рабочую поверхность формы наносят покрытие, состоящее, например, из 85% олифы натуральной или $К_4$ и 15% цинковых густотертых белил, а формы перед подачей стекла орошают водой. В качестве покрытия используют тонкоизмельченный древесный уголь или древесную муку. Для обеспечения хорошей адгезии и получения покрытия высокого качества полости формы тщательно очищают наждачной бумагой зернистостью 100–240 и обезжиривают бензином, скипидаром или 15%-ным раствором гидроксида натрия. Покрытие наносят ровным слоем на рабочую поверхность формы мягкой кистью, засыпают уголь или древесную муку и встряхивают форму до получения равномерного покрытия. Формы с покрытием помещают в муфель для сушки в течение 2–3 ч при температуре 150–200°С. После износа покрытия формы чистят и наносят новое покрытие.

Хороший уход за формами обеспечивает их длительную эксплуатацию и выпуск изделий хорошего качества. Чистят формы вручную или механизированным способом. Формы сложной конфигурации чистят и полируют вручную абразивными инструментами и материалами. Для чистки форм могут быть применены абразивно-жидкостный и электрохимический способы, проводимые на специальных установках.

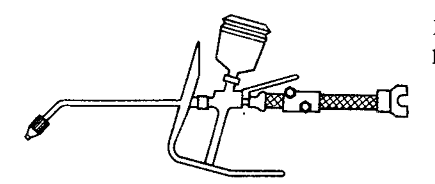


Рис. V.10. Газокислородная наплавочная горелка

При ремонте форм устанавливают сменные вкладыши, пробки-заделки, пространивают и протачивают поверхности, делают газопламенную наплавку и т.п. Вид ремонта зависит от характера повреждения, условий работы, конструкции и назначения формы. Притупленные или забитые кромки и углы восстанавливают газопламенной наплавкой, которой также и упрочняют рабочие поверхности форм. В качестве сплава для этих целей используют порошки на основе никеля. На рис. V.10 изображена газокислородная наплавочная горелка, которая состоит из ствола, наконечника и смесительного узла с бункером для порошка. При электродуговой наплавке применяют электроды из монельметалла.

Хранить формы следует в специальном помещении, которое оборудуют прочными стеллажами с проходами и проездами между ними, обеспечивающими транспортировку форм механизированными средствами или на специальных тележках. Рабочие поверхности форм, предназначенных для хранения, следует покрывать антикоррозийными смазками, которые должны легко удаляться и не оставлять вредных осадков.

§ 5. ПОРОКИ ФОРМОВАНИЯ СТЕКЛОИЗДЕЛИЙ

Качество стеклоизделий определяется уже в процессе варки стекла и дальнейшими условиями подготовки стекломассы к формованию изделий. Операции формования ограничены во времени. Пороки формования возникают в основном при неправильном сочетании технологических факторов и времени формования.

Пороки, появляющиеся на изделиях в процессе формования, зависят от работы питателя, других механизмов стеклоформующих автоматов и режимов формового комплекта.

Пороки, связанные с работой питателя, подразделяют на посторонние включения, термические и механические.

Посторонние включения: пузыри, твердые включения (непровар, продукты кристаллизации стекла и разрушения огнеупора, окалина) могут поступать в питатель из печи или образовываться в нем. Определить, откуда поступает на формование стекломасса с пороками (из печи или из питателя) можно по пробе стекла, взятой из рабочего отделения печи до пеноочистительного бруса.

Термические пороки наиболее характерны для капли. Они возникают из-за термической неоднородности капли. Обычно брак изделий в таком случае – продутость стенок и залив дна.

Механические пороки – пороки формы, массы и качества поверхности капли, ритма подачи ее в формы. Форма и масса капли, подаваемой питателем, зависят от настройки хода плунжера, его расположения над очком, диаметра плунжера и формы его рабочего конца, диаметра очка,

расположения цилиндра питателя по высоте (глубины погружения), расположения ножниц, координации во времени моментов подъема плунжера и отрезания капли. Большое воздействие на форму и массу капли оказывает тепловой режим питателя, что тоже можно использовать для регулирования формы и массы капель, но только в оптимальном рабочем интервале температур.

Пороки, связанные с работой механизмов стеклоформующих автоматов, могут быть устранены регулировкой и настройкой отдельных узлов и всего автомата в целом. Если операторы в совершенстве знают автомат, квалифицированно его обслуживают, такие пороки могут быть исключены.

Значительное влияние на качество изделий оказывают и режимы формовых комплектов: тепловой, обдувания, смазки, замены и очистки форм. При повышении температуры форм на изделиях возникают так называемые пороки "горячего хода" автомата (прилипание стекла к формам, разрывы, слипание, деформация изделий и т.п.). При снижении температуры форм на изделиях появляются так называемые пороки "холодного хода" автомата (посечки, кованость, складки, недопрессованное горло и др.). Рабочий интервал температуры форм лежит между этими двумя отклонениями и зависит от конфигурации и типа изделий, распределения стекла в изделии, массы изделия, химического состава стекла, его теплопрозрачности, скорости работы автомата и его конструкции, мощности и совершенства средств для охлаждения форм, материала, площади, характера теплоотдающей поверхности форм и др. При периодической смазке форм кроме технологического воздействия на них отбирается от формы тепло на эндотермические процессы (испарение, возгонку и др.). Температура окружающего воздуха, которая для некоторых районов страны может изменяться от 30 до 50°С, также влияет на температуру форм. Иногда для повышения эффективности работы форм охлаждающий воздух увлажняют.

Для бутылочных стеклоформующих автоматов с капельным питанием характерен двухступенчатый режим оформления пульки, который отражается на корпусе готового изделия: появляется так называемая фидерная волна, т.е. местные утолщения и утонения стенки изделия. Изделия часто разрушаются в зоне фидерной волны, особенно если она ярко выражена. Рациональная форма изделия, соответствие конфигураций черновой и чистовой форм, оптимальный температурный режим в питателе – все это позволяет получать изделия с неярко выраженной фидерной волной.

Фидерная волна может быть устранена применением прессовыдувного способа формования бутылок, для которого характерным является одноступенчатый прессовый режим оформления пульки. Дальнейшее раздувание такой пульки приводит к получению изделий с равномерной толщиной стенок.

В ряде случаев на стеклотарных заводах появляется массовый брак из-за недостаточной термической и механической прочности стекла. Причины возникновения этих видов брака связаны как с нарушениями режима варки, вследствие чего на формование поступает стекломасса низ-

кого качества, так и с нарушениями режимов питания стеклоформующих автоматов и режимов формования.

Посечки – небольшие трещины, наиболее распространенный порок стеклянной тары и прессованных сортовых изделий. Они возникают по разным причинам в различных местах изделий, имеют разнообразную форму, могут быть поверхностными, глубинными и сквозными. Поверхностные посечки являются результатами нарушения целостности поверхностного отвердевшего слоя стекла. При выработке изделий на прессовыдувных автоматах, на которых пулька и горло оформляются при прессовании капли стекла, частым и распространенным пороком является посечка горла.

В зависимости от причин возникновения различают посечки термические и механические. Термические посечки появляются при контакте нагретого стекла с холодными или влажными поверхностями. Для предотвращения таких посечек стекло должно соприкасаться только с нагретым металлом. Горловые кольца, черновые и чистовые формы с поддонами, а также хватки отставителя и ленты конвейера должны быть достаточно нагретыми. На горячие изделия не должны попадать капли воды или масла. Механические посечки появляются при местных механических воздействиях на изделие из-за неправильного монтажа, регулирования или эксплуатации автомата.

Подпрессовка – излишек стекла на изделии, проникший в шов между деталями формового комплекта, может образоваться в результате их неправильного изготовления (с большим зазором), износа, накопления нагара между ними и т.п.

Неравиомерное распределение стекла в изделии возникает при неравномерной температуре частей формы, неправильной форме пульки, раннем или позднем выдувании изделия.

Деформация частей изделия (горла, корпуса, дна, плечиков и т.д.) – результат перегрева стекломассы, недостаточного охлаждения форм, больших скоростей автомата.

Кованость появляется, когда стекломасса имеет повышенную температуру в процессе выработки изделий, а формы охлаждены или скорость автомата мала. Обычно изделия с кованой поверхностью получаются при пуске автомата после простоя. По мере разогревания форм кованость уменьшается, а затем совершенно исчезает.

Складки располагаются главным образом на поверхности изделий. Появляются при недостаточной температуре стекломассы или формы, а также при слишком большом усилии формования.

Сетка-паутинка представляет собой мельчайшие пузырьки, оставляющие за собой след в виде сетки. Появляется в результате догорания смазки в трещинах.

Недопрессованное горло получается при недостаточном давлении воздуха, неплотностях в трубопроводе, шлангах, золотнике начального дутья, при низкой температуре формы, горлового кольца, пуансона.

Пузыри, образовавшиеся в стекле во время выработки, возможны из-за повреждения огнеупорных деталей питателя, неправильного падения капли в черновую форму, повреждения лотков и отражателя, лишнего

количества масла на поверхности форм, падения в питатель посторонних предметов.

Чтобы выявить причины возникновения пороков и повысить качество изделий, необходим текущий и выборочный контроль технологических параметров: давления и количества воздуха для выдувания изделия и обдувания форм, температуры стекломассы и стенок форм, времени выполнения отдельных операций, мощности и производительности автомата, теплоотдачи и др.

Глава VI. ОТЖИГ И ЗАКАЛКА СТЕКЛОИЗДЕЛИЙ

В процессе формования изделий при достаточно быстром их охлаждении в области температур выше температуры стеклования T_g в стекле возникают неравномерно распределенные напряжения, снижающие его механическую прочность. Для снятия этих напряжений применяют дополнительную термическую обработку – отжиг, являющийся необходимой стадией технологического цикла изготовления стеклоизделий. С другой стороны, термическая обработка (закалка) создает в изделии управляемые остаточные напряжения, обеспечивающие резкое упрочнение стекла и изменение характера его разрушения.

Кроме этих двух основных видов термической обработки при изготовлении стеклотары и сортовой посуды используют термическую обработку поверхности изделий, откалывание колпачка и оплавление края изделий, обработку их в расплавах солей.

В настоящей главе излагаются основы отжига и закалки. Остальные виды термической обработки, характерные для сортовой посуды, рассматриваются в гл. VIII. Выбор основных процессов термической обработки основан на закономерностях возникновения, распределения и релаксации (ослабления) напряжений в стеклах.

§ 1. ВИДЫ НАПРЯЖЕНИЙ, ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Внутренними (собственными) называют напряжения, уравновешенные в пределах данного тела (или части его) без участия механических или температурных воздействий. По степени локальности эти напряжения в стеклах делят на две категории: напряжения I рода – макроскопические, действующие в областях, соизмеримых с размерами тела; напряжения II рода – микроскопические, действующие в областях, соизмеримых с размерами микронеоднородностей.

Напряжения I рода в свою очередь разделяют на временные и постоянные (остаточные). Временные напряжения возникают при нагревании или охлаждении стекла вследствие неравномерности температурного поля в объеме изделия, вызывающего неравномерные упругие деформации и исчезающие при выравнивании температуры. Такие напряжения, не вызывающие остаточных деформаций, называют также **термоупругими.** Напряжения, остающиеся в стекле после выравнивания температур, называют **постоянными.**

Временные напряжения возникают во время охлаждения и нагревания при температуре ниже T_g, постоянные – при его охлаждении от температуры выше T_g.

В стекле, как и в любом изотропном твердом теле, деформации (удлинение или сжатие), появляющиеся при изменении температуры, не вызывают напряжений при условии, что все элементарные объемы стекла прогреваются одновременно и в равной степени (т.е. имеют одинаковую температуру). Однако в действительности это условие не выполняется: в связи с низкой теплопроводностью стекла в изделии возникают градиенты температур, элементарные объемы расширяются (сжимаются) неравномерно, что приводит к образованию внутренних упругих напряжений.

В процессе формования изделий из стекла и их охлаждения между поверхностными и внутренними слоями возникает некоторая разность температур, связанная с плохой теплопроводностью стекла. В результате неравномерного остывания поверхностных и внутренних слоев в стекле возникают напряжения сжатия и растяжения. Скорость исчезновения напряжения прямо пропорциональна текучести или обратно пропорциональна вязкости стекла.

Разберем подробнее процесс возникновения остаточных напряжений в стекле (рис. VI.1). Возьмем стеклянный шар такой температуры, при которой возможны заметные неупругие деформации в стекле (например, при $\eta = 10^{11}$ Па·с), и выделим мысленно в нем две области: внешний слой и ядро (рис. IV.1, *а*). Начнем быстро охлаждать шар. Внешний слой будет остывать значительно быстрее, чем ядро, и в течение всего процесса охлаждения его температура будет ниже температуры ядра. В результате внешний слой стремится сжаться больше, чем ядро. В первые моменты охлаждения, пока в стекле еще возможны неупругие деформации, внешний слой уменьшается в объеме, деформируясь, так как ядро, не успевшее остыть, занимает больший объем, чем при медленном охлаждении, и не дает внешнему слою свободно сжиматься. Вследствие этого диаметр внешнего слоя будет больше, чем при медленном охлаждении, т.е. когда разность температур внешнего слоя и ядра невелика. В таком состоянии внешний слой успевает затвердеть, что произойдет в тот момент, когда при дальнейшем снижении температуры вязкость стекла достигнет $10^{13} - 10^{14}$ Па·с (рис. VI.1, *б*). При дальнейшем остывании стекла внешний слой, наконец, примет конечную температуру (температуру воздуха в помещении), а через некоторое время и температура ядра сравняется с температурой внешнего слоя. Но так как температура ядра в момент затвердевания внешнего слоя была выше температуры последнего, то ядро, остывая на большее число градусов, стремится занять меньший объем, чем объем, ограничиваемый внешним слоем.

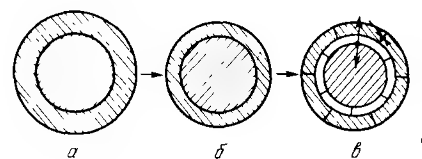


Рис. VI.1. Схема возникновения остаточных напряжений в стекле

Ядро как бы стремится подтянуть к себе внешний слой, а внешний слой оказывает упругое сопротивление этому воздействию. Если бы была возможность, ядро сжалось бы и отошло от внешнего слоя, образовав зазор (рис. VI.1, *в*). Но так как трещина внутри стекла при этом обычно не возникает, то остаются напряжения, причем в ядре – напряжения растяжения, а между частицами внешнего слоя – напряжения сжатия (стрелки на рис. VI.1, *в*).

Остаточные внутренние напряжения в стекле тем больше, чем больше скорость охлаждения, толщина стеклянного изделия и температура, при которой начинается охлаждение. Если быстро охлаждать лишенное напряжений стекло, начиная с температур, при которых стекло обладает хрупкими свойствами, т.е. если его вязкость превышает $10^{13} - 10^{14}$ Па·с, то с какой бы скоростью ни охлаждали стекло, остаточных напряжений в нем практически не будет.

Остаточные напряжения не возникнут также в том случае, если стекло охлаждается чрезвычайно медленно. Если охлаждать изделия из стекла, содержащие мелкие твердые включения, то даже при самой малой скорости охлаждения возникают местные остаточные напряжения, вызванные разницей коэффициентов термического линейного расширения стекла и твердого включения. При этом включения находятся в состоянии сжатия, а прилегающие к ним слои – в состоянии растяжения в соответствии с рассмотренной схемой. Так как предел прочности стекла при растяжении значительно (примерно в 20 раз) меньше предела прочности при сжатии, то разрушение изделия будет начинаться в слоях, испытывающих напряжения растяжения. Напряжения растяжения являются разрушающими, если они достигли 70 МПа. Напряжения можно оценивать по величине вызываемого ими двойного лучепреломления – разности хода обыкновенного и необыкновенного лучей. Взаимосвязь напряжений и разности хода выражается формулой

$$\sigma = \Delta / Bl,$$

где σ – напряжения, МПа; Δ – разность хода лучей, м; B – оптический коэффициент напряжений (фотоупругая постоянная), МПа$^{-1}$; l – длина хода лучей (толщина стекла), м.

Для удобства при измерении двойного лучепреломления компенсационным методом и во избежание пользования весьма малыми числами двойное лучепреломление выражают в нм/см. Тогда фотоупругая постоянная будет выражаться безразмерными числами. Для сортовых и тарных стекол фотоупругую постоянную можно принять равной 30. Длина хода лучей или толщина стекла в этом случае выражается в сантиметрах (см). С учетом этого разрушающим растягивающим напряжениям для стекла толщиной 1 см будет соответствовать разность хода лучей 2100 нм/см. Обычно принимают, что для безопасной прочности стекла остаточные напряжения не должны превышать 5% от разрушающих напряжений, т.е. 3,5 МПа, или 105 нм/см, но для ряда изделий, в частности стеклянной тары и сортовой посуды, они могут быть увеличены. Так, для стеклотары приняты остаточные напряжения, соответствующие разности хода лучей 115 нм/см. Разность хода изменяется прямо пропорционально толщине стекла.

§ 2. ОТЖИГ

Отжигом называется такая термическая обработка стеклоизделий, при которой внутренние остаточные напряжения удаляются или уменьшаются до допустимых пределов, зависящих от назначения изделий и условий их эксплуатации.

При отжиге проводится регулируемое охлаждение изделий от температуры формования до температуры цеха. Режим отжига стеклоизделий зависит от состава и свойств стекла, размеров и толщины стенок изделий. Чтобы установить режим отжига, нужно определить две его крайние точки, т.е. тот интервал температур, внутри которого ослабляются и исчезают остаточные напряжения. Эти температуры соответствуют вязкости стекла 10^{12} Па·с (высшая температура отжига $t_в$) и 10^{14} Па·с (низшая температура отжига $t_н$).

Высшая температура отжига теоретически соответствует температуре перехода стекла из пластического состояния в хрупкое, т.е. температуре стеклования T_g. На практике, чтобы избежать деформации изделий при отжиге, температуру отжига принимают на 20–30°С ниже T_g. Для большинства промышленных сортовых и тарных стекол высшая температура отжига составляет 520–550°С. При этой температуре напряжения в стекле за 5 мин уменьшаются в 10 раз. Высшая температура отжига зависит от состава стекла аналогично вязкости.

Низшая температура отжига – температура, ниже которой стекло можно охлаждать с любой скоростью, не опасаясь появления разрушающих напряжений. При низшей температуре отжига напряжения уменьшаются в 100 раз медленнее, чем при высшей. Теоретически низшая температура

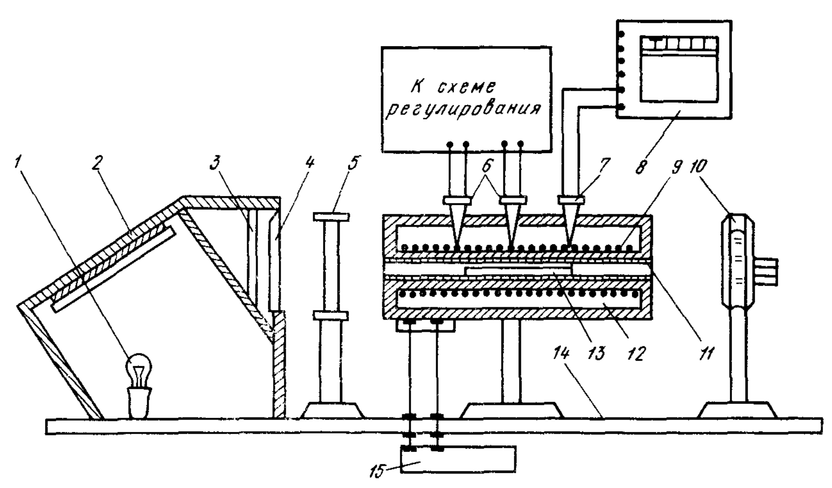


Рис. VI.2. Схема установки для определения температуры отжига стекла оптическим методом:
1 – лампа; *2* – зеркало; *3* – матовый стеклянный экран; *4* – защитное стекло; *5* – поляризатор; *6* – термопары регулирующие; *7* – термопары регистрирующие; *8* – записывающий прибор; *9* – нагревательная спираль; *10* – анализатор; *11* – труба металлическая; *12* – электропечь; *13* – образец стекла; *14* – основание; *15* – регулятор напряжения

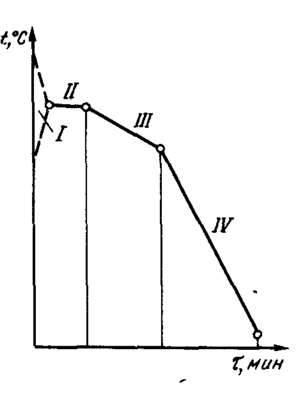


Рис. VI.3. Температурная кривая отжига изделий

отжига должна быть ниже высшей на 50–60°С, однако практически для большей безопасности и в зависимости от вида изделий ее принимают на 70–120°С ниже высшей. Низшая температура отжига для тарных и сортовых изделий обычно равна 450–480°С.

При использовании полуавтоматической установки, предназначенной для определения температуры отжига и измерения напряжений (рис. VI.2), в печь на огнеупорной подставке помещают стеклянный образец. Печь закрывают крышками со смотровыми окнами. Температуру образца определяют термопарами. Печь размещена между поляризатором и анализатором полярископа. Нагревание производится со скоростью 5°С в минуту. Одновременно наблюдают за окраской образца в поле зрения прибора. Напряженный образец окрашен в синий, зеленый, оранжевый, желтый и другие цвета. С повышением температуры комбинация цветов, наблюдаемая в полярископе, меняется, что указывает на начало исчезновения напряжений. Определенная при этом температура соответствует низшей температуре отжига. При дальнейшем повышении температуры напряжения исчезают, что определяется однородной фиолетовой окраской образца. Температура соответствует высшей температуре отжига. Установка также позволяет раздельно определять временные и остаточные напряжения в процессе термообработки.

Аналогичная установка с большим объемом рабочего пространства может быть использована для определения параметров отжига изделий.

Температурный режим отжига. Для построения температурной кривой отжига необходимо знать состав стекла и размеры изделий.

Режим отжига изделий (рис. VI.3) состоит из следующих стадий:

I. Предварительное нагревание (или охлаждение) изделий до высшей температуры отжига. Проводится с максимальной скоростью, ограниченной возможностью разрушения изделия.

На практике при расчете скорости вводят коэффициент пятикратного запаса прочности, принимая в качестве допустимых напряжения в 4–5 раз меньше условных. При этом скорость нагревания или охлаждения, °С/мин, рассчитывают исходя из толщины стенки изделия. При отжиге изделий разной толщины скорость рассчитывают по наибольшей толщине стенки.

II. Выдержка изделий при высшей температуре отжига $t_в$. При этом происходит выравнивание температур в изделии и ослабление остаточных напряжений. Температуру при этом выбирают такой, чтобы предотвратить деформацию изделий (несколько ниже $t_в$), но обеспечить достаточно высокую скорость релаксации (ослабления) напряжений (выше $t_н$). Обычно время релаксации при температуре отжига от 3 до 20 мин.

Установлено, что снижение температуры на каждые 10°С увеличивает время релаксации напряжений в два раза. Значительное снижение температуры отжига нецелесообразно, так как связано с увеличением его длительности и, следовательно, расхода энергии в печах, затрат на их строительство и эксплуатацию.

Границы зоны отжига могут быть определены несколькими способами: по кривой термического расширения стекла (см. рис. I.7) и температурной зависимости вязкости стекла (см. рис. I.2, I.3). Для определения высшей температуры отжига может быть использован упрощенный метод Гельгофа и Томаса, основанный на влиянии состава стекла на $t_в$, которой соответствует вязкость 10^{12} Па · с (приложение III).

III. Медленное охлаждение в интервале температур отжига. Это одна из важнейших стадий отжига, так как именно здесь в изделии могут вновь образоваться разрушающие остаточные напряжения, которые в процессе дальнейшего охлаждения уже нельзя устранить. На данной стадии отжига сортовую посуду и стеклянную тару рекомендуется охлаждать с малой скоростью, учитывая толщину стенок изделий.

IV. Быстрое охлаждение изделий от низшей температуры отжига до температуры окружающей среды (25°С). Охлаждение проводится со скоростью, лимитируемой только возникающими временными термоупругими напряжениями, т.е. термостойкостью изделия. На этой стадии вероятность появления опасных остаточных напряжений очень мала. Практически охлаждение изделий можно вести со скоростью 20—40°С/мин.

Расчеты температурно-временных параметров отжига приведены в приложении III.

Для каждого вида изделий разрабатывают индивидуальный режим отжига в зависимости от их назначения, формы и размеров, состава стекла, условий формования, допустимых остаточных напряжений, типа печи отжига. Следует отметить, что в промышленных условиях температура в печах отжига меняется настолько плавно, что четкое разграничение стадий отжига отсутствует. В последнее время ведутся работы по интенсификации отжига изделий. Это может быть достигнуто как за счет интенсификации теплообмена, так и за счет повышения уровня допустимых остаточных напряжений, что сократит продолжительность II и III стадий отжига.

Контроль качества отжига. Качество отжига является одним из основных факторов, определяющих эксплуатационную надежность изделий. Качество отжига характеризуется характером распределения и величиной напряжений в изделии.

Наиболее распространенным методом контроля напряжений, появляющихся в изделиях в результате термической обработки, является их просмотр в поляризованном свете. Поляризационно-оптический метод контроля основан на явлении двойного лучепреломления, возникающем в стекле при действии внутренних напряжений и вызывающем окраску, наблюдаемую с помощью полярископа.

Качественное распределение напряжений в стеклоизделиях контролируют с помощью полярископов, например, ПКС-500 (рис. VI.4). Пучок

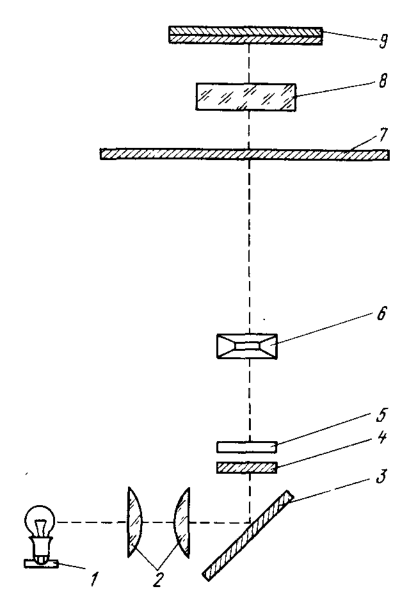


Рис. VI.4. Оптическая схема полярископа ПКС-500

световых лучей от электролампы *1* проходит конденсоры *2* и попадает на зеркало *3*, а затем – на поляризатор *4*, из которого выходит плоскополяризованным. Проходя через контролируемое изделие *8* с напряжениями, плоскополяризованный свет разлагается на два луча (обыкновенный и необыкновенный), распространяющихся в стекле с различными скоростями. Плоскости колебаний лучей взаимно перпендикулярны и сдвинуты по фазе на определенную величину, зависящую от характера напряжений и длины хода луча в контролируемом стеклоизделии. Анализатор *9* приводит колебания обыкновенного и необыкновенного лучей в одну плоскость, в результате чего происходит интерференция света и возникает окраска, представляющая собой комбинацию разных цветов. Характер и интенсивность интерференционной окраски определяются напряжениями в изделии. Для увеличения чувствительности окраски к изменению в зависимости от напряжений в оптическую схему полярископа вводят кварцевую пластинку *5*, создающую разность хода обыкновенного и необыкновенного лучей, равную 572 нм. Это вызывает пурпурно-фиолетовую окраску свободного поля полярископа, которая с помощью объектива *6* проецируется на матовое стекло *7*. Разность хода лучей в изделии характеризуется отступлением от пурпурно-фиолетового цвета свободного поля полярископа (нулевая разность хода) и качественно определяется по интерференционным цветам. Если поворачивать изделие *8*, помещенное между анализатором *9* и матовым стеклом *7*, его окраска изменяется в зависимости от того, суммируются или вычитаются разности хода лучей в данной точке изделия и чувствительной пластинке (табл. VI.1). При измерении изделие поворачивают так, чтобы яркость окраски была наибольшей.

Таким образом, по изменению интерференционной окраски в поле зрения полярископа можно судить о качестве отжига. Хороший отжиг характеризуется преобладанием в окраске фиолетовых и красных цветов, удовлетворительный – оранжевых, голубых и голубовато-зеленых, неудовлетворительный – зеленых и желтых цветов.

Однако оценка напряжений по интерференционной окраске недостаточно точна, а погрешность оценки интенсивно окрашенных стекол значительно увеличивается. Так, для изделий, окрашенных оксидом хрома, зеленый цвет, соответствующий разности хода лучей 200 нм/см, сходен с зеленым цветом стекла. Для изделий других цветов интерференцион-

Таблица VI.1. **Цвет и разность хода лучей**

Вычитание цветов		Сложение цветов	
Цвет	Разность хода лучей, нм	Цвет	Разность хода лучей, нм
Пурпурно-фиолетовый	0	Пурпурно-фиолетовый	0
Голубой	115	Красный	25
Голубовато-зеленый	145	Оранжевый	130
Зеленый	200	Светло-желтый	200
Желто-зеленый	275	Желтый	260
Желтый	325	Белый	310

Таблица VI.2. **Интерференционнан окраска дли изделий различной толщины**

Толщина участка изделия, см	Пары цветов, наблюдаемые при установке изделия в полярископ и при повороте на 90° вокруг оптической оси прибора
0,5	Фиолетовый – пурпурно-красный
0,5–1	Фиолетовый – красный
1–1,5	Индиговый синий – красно-оранжевый
1,5–2	Лазурно-синий – оранжевый
2–2,5	Зеленовато-синий – оранжевый
2,5–3	Зеленый – серо-желтый
3–3,5	Зеленый, светло-зеленый – серо-желтый
3,5–4	Светло-зеленый – светло-желтый
4–5	Светло-зеленый – желтовато-зеленый, светло-желтый – соломенно-желтый
Более 5	Желтовато-зеленый – желтовато-белый

ная окраска также будет иметь индивидуальный характер. Кроме того, интерференционная окраска меняется в зависимости от толщины стенок изделий и должна соответствовать цветам, приведенным в табл. VI.2.

Более точно напряжения с помощью полярископа можно оценить при использовании эталонов разности хода лучей. При этом измерения осуществляют методами сравнения (эталон и изделие располагаются рядом) и компенсации (эталон и изделие совмещают).

Наиболее точно измерения в изделиях можно измерить полярископами-поляриметрами ПКС-56, ПКС-125, ПКС-250. Полярископ-поляриметр ПКС-250 (рис. VI.5) по устройству аналогичен полярископу ПКС-500, только имеет столик со встроенным поляроидом для количественной оценки напряжений.

Печи для отжига изделий. Печи для отжига изделий классифицируют по режиму работы, источнику тепла, способу передачи тепла, направлению движения отжигаемых изделий и конструкции транспортирующих средств:

по режиму работы – периодического (камерные) и непрерывного (конвейерные) действия;

по источнику тепла – использующие жидкое, газообразное топливо, а также электрическую энергию;

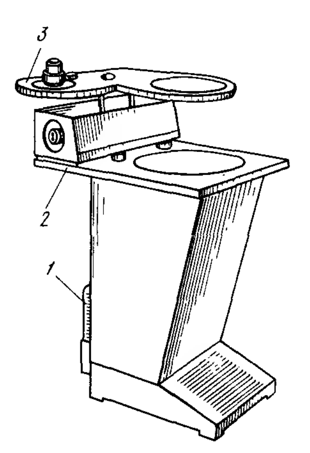


Рис. VI.5. Полярископ-поляриметр ПКС-250:
1 – осветитель; *2* – столик с встроенным поляроидом; *3* – измерительная головка с анализатором

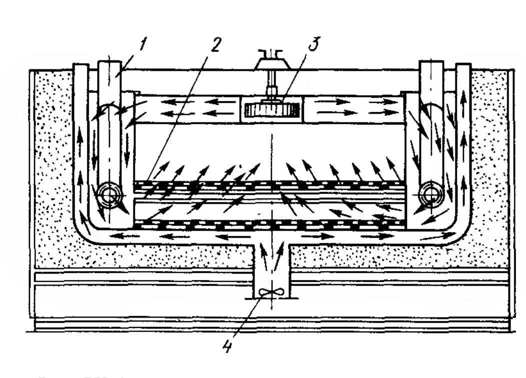


Рис. VI.6. Схема конвективного теплообмена в циркуляционной печи

по способу передачи тепла – прямого нагрева, муфельные и циркуляционные;

по направлению движения отжигаемых изделий – горизонтальные и вертикальные;

по конструкции транспортирующих средств – сеточные и люлечные.

В печах для отжига должно быть обеспечено равномерное распределение температуры внутри печного пространства и точно выдержанный режим отжига стекла.

Печи периодического действия применяют очень редко и в основном для отжига крупногабаритных толстостенных изделий. Печи непрерывного действия по сравнению с периодическими отличаются высокой производительностью, низким расходом тепловой энергии и более точным регулированием температурного режима.

Муфельные печи отжига снабжены двумя камерами сжигания и муфелями. Таким путем достигается уменьшение перепада температур в туннеле отжига. Зона быстрого охлаждения часто не имеет изоляционной засыпки. За туннелем отжига располагается открытый конвейер для окончательного охлаждения и сортировки изделий.

В циркуляционных печах отжига, или печах с конвективным теплообменом, для выравнивания температуры по сечению туннелей организовано движение воздуха. Схема конвективного теплообмена в печи представлена на рис. VI.6. Вентилятором *3* горячий воздух забирается в верхней части туннеля и поступает по боковым каналам под конвейерную ленту *2*, омывая снизу вверх установленные на ней изделия. Циркулирующий воздух подогревается в боковых каналах нагревателями *1*. Вентиляторы обеспечивают выравнивание температуры изделий по длине и ширине секций печи. Для обеспечения заданной температуры по длине туннеля наряду с нагревателями имеются и охлаждающие устройства. Для охлаждения предусмотрены вентиляторы *4*, подающие

наружный воздух в каналы, примыкающие к нижней и боковым сторонам обогреваемой части туннеля. Эти вентиляторы автоматически включаются, если температура в той или иной секции превышает заданную. Контроль температуры осуществляется термопарами. Возможно автоматическое регулирование заданного режима отжига.

Наиболее удобны, просты и эффективны в эксплуатации печи отжига с электрическим обогревом. В них обычно применяют нагревательные элементы сопротивления, которые устанавливают в печи, концентрируя их на тех или иных участках в соответствии с кривой отжига.

В производстве полых изделий могут быть использованы печи отжига с индукционным электрическим обогревом. Ток индуктируется во внутреннем кожухе печи, в котором транспортируются полые изделия.

При расчете конструктивных параметров печи отжига и ее теплового баланса определяют площадь и длину конвейера, высоту и другие размеры печи, исходя из габарита отжигаемого изделия.

При расчете теплового баланса печей отжига учитывают статьи прихода тепла: потенциальное тепло топлива, воздуха, идущего для горения, и дополнительного воздуха; тепло, вносимое изделиями, транспортирующими устройствами, продуктами горения, и статьи расхода тепла: тепло, уносимое изделиями, транспортирующими устройствами, продуктами горения или воздухом, потери через ограждения, тепло на охлаждение роликов, валов, неучтенные потери.

На качество отжига отрицательно влияют отклонения от заданного режима отжига, подъем передней и задней заслонок туннеля, неравномерная расстановка изделий по ширине конвейерной сетки, отжиг в одной печи изделий со стенками, имеющими большую разницу толщин, совместный отжиг натрий-кальций-силикатных и свинцовых стекол.

На заводах должны приниматься меры для сохранения тепла вырабатываемых изделий путем приближения печей отжига к местам выработки, тепловой изоляции конвейеров и т.п. Технологический режим в каждой печи должен контролироваться стационарными контрольно-измерительными приборами.

Для корректировки режимов отжига рекомендуется измерять температуру по длине туннеля передвижными термопарами, закрепленными в специальном устройстве на верхнем, среднем и нижнем уровнях отжигаемых изделий. Особенно это относится к тарным изделиям. Сравнивая полученные результаты с теоретическим расчетом и заданным режимом, можно отрегулировать температурный режим печи отжига.

Большое значение для повышения эффективности производства и улучшения эксплуатационных характеристик изделий имеет конструкция печей отжига. При конструировании и совершенствовании печей отжига следует предусмотреть небольшую массу ленты конвейера, размещение его возвратной ленты в туннеле, надежную изоляцию обогреваемой части, радиационные сводовые горелки, предотвращающие тягу вдоль туннеля.

Электрические печи позволяют полностью автоматизировать процесс отжига.

§ 3. ЗАКАЛКА

При закалке в поверхностных слоях стеклянных изделий для повышения механической и термической прочности создают остаточные напряжения. Технологический процесс закалки стекла состоит из двух стадий: на первой стадии изделия нагревают до определенной температуры, которая зависит от химического состава стекла, формы и размеров изделий; на второй стадии изделия интенсивно охлаждаются по определенному режиму, обеспечивающему большие теплосъемы с поверхности стекла в небольшие интервалы времени. В результате такой обработки в изделиях появляются равномерно распределенные напряжения: во внутренних слоях – напряжения растяжения, в наружных слоях – напряжения сжатия, увеличивающие механическую прочность и термическую стойкость изделий. Механическая прочность закаленного стекла в 4–6 раз выше, чем прочность отожженного стекла. Возникающие напряжения характеризуются степенью закалки стекла.

Закалка является конечной стадией технологического процесса, после чего стекло, как правило, не обрабатывается. Изделия из закаленного стекла при разрушении покрываются сетью сквозных трещин и не дают отскакивающих острых осколков, что обеспечивает безопасность их использования.

В ряде случаев применяют полузакалку, т.е. создают в изделиях из стекла небольшие, равномерно распределенные напряжения, позволяющие повысить механическую прочность в два и более раз и термическую стойкость при перепаде температур до 150°С.

К изделиям из стекла, подвергающимся закалке и полузакалке, предъявляются следующие требования: число таких пороков, как мошка, пузыри, свили, царапины, полосность и инородные включения, должно быть минимальным; инородные включения огнеупорного происхождения совершенно недопустимы. Инородные включения и пузыри в изделиях из стекла создают неравномерность распределения напряжений. Это может вызвать местные перенапряжения, снижающие механическую прочность и термическую стойкость всего изделия.

На рис. VI. 7 дана диаграмма напряжений, объясняющая повышенную механическую прочность закаленного стекла: знаком минус (–) обозначены напряжеиия сжатия, знаком плюс (+) – напряжения растяжения. Если отожженную стеклянную пластину, лежащую на двух опорах, нагрузить массой m (рис. VI.7,a), то в верхней ее половине возникают временные напряжения сжатия, а в нижней – напряжения растяжения, разные по значению и противоположные по знаку. Отожженное стекло не может выдержать

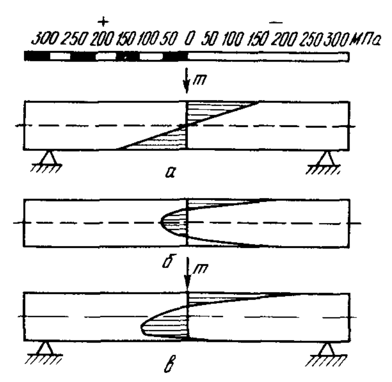


Рис. VI.7. Диаграмма напряжений в стекле

больших напряжений из-за превышения предела прочности при растяжении. Поверхностные слои закаленной пластины с остаточными напряжениями находятся в сжатом состоянии, внутренние — в растянутом с максимумом в центре пластины (рис. VI.7, *б*). Между центральной частью и поверхностями расположены нейтральные слои. При нагружении закаленной пластины массой m результирующие напряжения перераспределяются (рис. VI.7, *в*). Эпюра результирующих напряжений будет складываться из остаточных напряжений, созданных в процессе закалки, и изгибающих напряжений, вызванных нагружением массой m. Обе поверхности находятся в сжатом состоянии. Верхняя поверхность сжата суммарными усилиями в бо́льшим значением напряжения сжатия, чем в отожженном стекле. Нижняя поверхность имеет меньшую величину напряжений сжатия. При суммировании напряжения растяжения остаются внутри закаленной пластины с некоторым смещением максимума к нижним слоям.

Применение сильно охлаждающих средств, какими являются различные жидкости, открывает большие возможности для получения изделий из стекла с оптимально распределенными напряжениями, высокими показателями механической прочности и термической стойкости.

В отечественной стекольной промышленности освоен выпуск закаленных прессованных сортовых изделий.

Температура и степень закалки. Температуру закалки приближенно можно определить по формуле Г.М. Бартенева

$$t_з = t_в + 80,$$

где $t_з$ – температура закалки, °С; $t_в$ – высшая температура отжига, °С.

Однако необходимо помнить, что при этих температурах возможна деформация изделий, особенно полых. Поэтому температура закалки будет несколько ниже и окончательно определяется практическим путем. Температуру закалки можно установить также, наблюдая в полярископе начало исчезновения напряжений в стеклоизделиях при нагревании. Температура, соответствующая полному и быстрому исчезновению напряжений, будет **температурой закалки**. Температура закалки зависит от химического состава стекла: при увеличении содержания SiO_2 и Al_2O_3 она повышается, при увеличении содержания Na_2O, K_2O, PbO — снижается.

Степенью закалки называют величину остаточных напряжений, или разность хода лучей, измеренную в нм/см.

Достигаемая в производстве закаленных сортовых изделий средняя степень закалки составляет 1500–2500 нм/см. На степень закалки влияют температура и продолжительность нагревания стеклоизделий, интенсивность охлаждения и в меньшей степени химический состав стекла. Интенсивность охлаждения и степень закалки стеклоизделий значительно зависят от расстояния между обдувочными соплами и стенкой изделия. При расстоянии 1 см скорость воздуха падает в 2 раза, а на расстоянии 5,5 см — в 7–8 раз. В связи с этим существенно снижается и степень закалки. Для сортовых изделий, имеющих сложную конфигурацию и развитую внутреннюю полость, практически невозможно достичь одина-

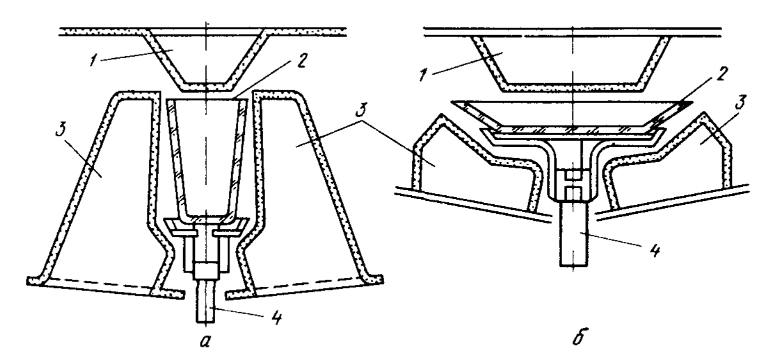


Рис. VI.8. Схема воздушной закалки стаканов (*а*) и салатников (*б*):
1 – верхний кессон, подающий воздух внутрь изделия; *2* – изделие; *3* – боковые кессоны; *4* – вращающийся держатель изделий

кового оптимального расстояния обдувочной решетки до обдуваемых поверхностей. Так, для стаканов оптимальное расстояние может быть достигнуто только для внешних поверхностей. Для внутренних же поверхностей при плоской обдувочной решетке условия охлаждения неблагоприятны, так как воздух движется вдоль внутренней поверхности, а дно находится на значительном расстоянии от решетки. В связи с этим применяют повышенное давление воздуха.

Методы оценки и контроля закаленных изделий. Закаленные прессованные изделия обладают повышенной механической прочностью и выдерживают удар свободно падающего стального шара с высоты 0,8 м. Механическая прочность незакаленных стекол во много раз меньше.

Для контроля прочности применяют метод свободного падения изделий на металлическую плиту в положениях дном вверх и дном вниз. Для контроля прочности края изделий проводится их групповое испытание на вибросотрясателе. Закаленные изделия имеют повышенную термостойкость: они выдерживают перепад температур 130–250 °С. (Отожженные изделия растрескиваются при разности температур 70 °С.) Методы контроля закаленных изделий на термостойкость — стандартные.

Качество закалки контролируют полярископом путем просмотра интерференционной окраски и сравнения ее с эталонными образцами. Величину напряжений можно контролировать поляриметром.

Полный контроль качества закаленных изделий производится в соответствии с нормативно-техническими документами и стандартами предприятия.

Печи для нагревания изделий и обдувочные устройства. Прессованные стеклоизделия перед закалкой можно нагревать в туннельных печах с зонами подъема и выравнивания температур. Размеры туннеля: длина 6 м, сечение 0,4×0,4 м. Обогрев печей — газовыми горелками, расположенными в шахматном порядке. Горелки разогревают керамическую насадку и изделия равномерно разогреваются под действием теплового излучения. После выравнивания температуры изделия попадают в зону закалки, где резко охлаждаются воздухом.

Наиболее благоприятные условия создаются для закалки наружной поверхности и края изделий, которые и определяют в основном их эксплуатационную надежность (рис. VI.8).

Глава VII. ТЕХНОЛОГИЯ СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

§ 1. ВИДЫ СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ И ЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СТЕКЛЯННОЙ ТАРЕ

Стеклянную тару изготовляют с внутренним диаметром горла до 30 мм (узкогорлая) и более 30 мм (широкогорлая). К первой, наиболее распространенной, группе узкогорлой тары относятся бутылки для розлива и хранения пищевых жидкостей; ко второй группе – посуда для хранения медикаментов; к третьей – посуда для парфюмерной продукции (духи, одеколон и др.); к четвертой – все прочие виды узкогорлой тары. Широкогорлая тара предназначена для хранения полужидких и твердых продуктов. К основной группе этого вида тары относятся консервные банки, широкогорлые бутылки и бутыли, используемые в пищевой промышленности, к другой – широкогорлая аптекарская посуда и все прочие виды широкогорлой стеклянной тары.

Преимуществами стеклянной тары перед другими видами тары, обусловившими ее широкое применение в разных отраслях промышленности, являются гигиеничность, прозрачность, возможность производства разнообразных объемов и массы (от 1 г до нескольких килограммов) и герметичной укупорки, доступная цена. К недостаткам стеклянной тары следует отнести малую механическую прочность и относительно большую массу на единицу затариваемой продукции.

Стекло для тары должно быть хорошо проваренным, однородным и по возможности без пороков (камня, шлира, заметной свили). Оно должно быть химически стойким, не переходить в содержимое тары и не портить его качества. Совершенно недопустимы поверхностные пузыри, внутренние пузыри допускаются лишь в ограниченном количестве.

Стекло для тары может быть бесцветным, необесцвеченным (полубелым), окрашенным в защитные цвета (зеленый, оранжевый и т.п.) для предотвращения влияния света на содержимое тары.

Стеклянную тару изготовляют установленной формы, ее линейные размеры, масса и вместимость не должны превышать допустимых отклонений. По корпусу тары стекло должно быть распределено равномерно, без резких утонений (продутостей) и утолщений (заливов). Горло не должно иметь заусенцев и подпрессовок – выступов стекла на месте стыка частей формового комплекта. Все края венчика горла должны быть скруглены. Не допускаются щербины и посечки, нарушающие механическую прочность горла. Отжиг изделий должен быть хорошим.

Стеклянная тара должна быть механически прочной, термостойкой при установленном перепаде температур, иметь достаточное сопротивление внутреннему гидростатическому давлению и раздавливанию под нагрузкой.

Таблица VII.1. Техиические требования к стекляииой таре

Показатель	Бутылки для пищевых жидкостей (ГОСТ 13906–78)				Банки стекляииые для коисервов (ГОСТ) 24639–81)	Для химических реактивов и особо чистых веществ (ОСТ 6-19-72–76)
	для шампанских вии		для пива, минеральных вод	для напитка "Пепси-кола"		
	резервуарного выпуска	тиражного выпуска				
Гидростатическое давление, МПа, ие меиее, в течение						
60 с	1,37	1,67	0,98	1,47	–	0,1–0,5 (узкогорлая)
5 с					0,15–0,4	0,07–0,3 (широкогорлая)
Перепад температур, °С, не меиее	30	30	40	35	40	35

Примечания: 1. Сопротивлеиие баиок для коисервов сжатию по вертикальиой оси корпуса – 3000–5000 Н, в иаправлеиии, перпендикуляриом стеикам корпуса, – 1500 Н.

2. Термостойкость тары проверяют по ГОСТ 13903–81.

3. Изделия под укупорку аэрозольиым клапаиом должны выдерживать виутреииее гидростатическое давлеиие ие меиее 0,98 МПа.

В зависимости от назначения к каждому виду стеклянной тары предъявляют технические требования, изложенные в государственных стандартах или в технических условиях.

В табл. VII.1 приведены технические требования к основным видам стеклянной тары.

§ 2. ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

Стеклянную тару вырабатывают в основном по следующей технологической схеме. Сырье со склада поступает в составной цех, где его дробят, сушат, размалывают и направляют в бункера для хранения. Туда же поступает стекольной бой, предварительно очищенный от посторонних примесей и раздробленный до кусков размером 2–5 см. Затем сырье и бой отвешивают для составления шихты по заданному рецепту. Полученную шихту подают к ванной печи и загружают в нее загрузчиком.

Определенные количества сваренного стекла, соответствующие массе вырабатываемых изделий, питателем или с помощью вакуума непосредственно из печи подают сначала в черновую, а затем в чистовую форму машины, где формуют изделия. Из машины отформованную тару конвейером доставляют к печи отжига. На стеклотарные изделия после формования можно наносить тонкую пленку из оксидно-металлических соединений, что повышает их механическую прочность и эксплуатационную надежность. В процессе отжига на стеклотарные изделия можно наносить защитно-упрочняющие пленки на основе органических и кремнийорганических соединений.

Отожженные изделия контролируют на соответствие государственному стандарту или техническим условиям. Проверяют качество стекла и выработки и особенно точность оформления горла для обеспечения герметической укупорки, а также механическую прочность и термостойкость. При необходимости венчик горла дополнительно шлифуют или оплавляют.

Отсортированную и признанную годной тару упаковывают и отправляют на склад готовых изделий. Проверке качества стеклотары на стеклотарных заводах надо уделять большое внимание. Помимо разбраковки и калибровки выходящей из печи отжига тары ее качество должна систематически проверять заводская лаборатория. Вместе с этим должен быть организован контроль технологических процессов, основная цель которого заключается в обеспечении их стабильности и соответствия установленным параметрам.

§ 3. СОСТАВЫ СТЕКОЛ, ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Стеклянная тара имеет различное назначение, поэтому к стеклу, из которого она изготовляется, предъявляют определенные требования. Комплекс физико-химических свойств, необходимых для стеклотары, удовлетворяется в основном при использовании стекол щелочно-силикатного состава. Отдельные виды стеклотары медицинского назначения изготовляют из боросиликатного стекла.

Составы наиболее распространенных тарных стекол относятся по химической устойчивости к III гидролитическому классу; стекла, к которым предъявляются повышенные требования – по II гидролитическому классу; стекла медицинского назначения – к I.

Тарные стекла должны также иметь достаточную термостойкость и светозащитную способность, обладать хорошими технологическими свойствами для обеспечения высокой производительности стеклоформующих машин и качества продукции, отвечающего государственным стандартам.

Составы тарных стекол, предназначенных для механизированной выработки массовых изделий, по содержанию основных компонентов можно считать стабилизированными. Небольшие различия в их составе связаны с видом стеклянной тары, способом ее изготовления и назначения. Возможны добавки некоторых оксидов для улучшения эксплуатационных и технологических свойств стекол.

Основные стеклообразующие оксиды в тарных стеклах содержатся в следующих количествах, %: $(SiO_2 + R_2O_3)$ 73–76, RO 7–12, R_2O 13–17.

Некоторая разница в составах стекол характерна для машин с вакуумным и капельным питанием. Как правило, стекла для машин с вакуумным питанием содержат больше щелочноземельных и меньше щелочных оксидов. Содержание щелочных оксидов увеличивается при выработке на выдувных автоматах мелкой стеклотары (вместимостью до 200 мл), а также стеклотары с мелкой резьбой на горле под винтовой колпачок.

В табл. VII.2 приведены составы стекол, применяемые на разных заводах для производства узко- и широкогорлой стеклотары.

Таблица VII.2. Химические составы стекол

Группа стекла	Марка стекла (ОСТ 21-51–82)	Содержание оксидов, %					
		SiO_2	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$: Σ	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$: в том числе Fe_2O_3, не более	CaO+ + MgO	Na_2O + + K_2O	SO_3
Бесцветная	БТ-1	72 ±1,5	2,5± 1	0,1	11± 1,3	14± 1	0,5
Полубелая	ПТ-1	71,4 ± 2	3± 1	0,5	11± 1,3	14,2± 0,9	0,4
	ПТ-2 (для полуавтоматов)	71,3± 2	2,5 ± 1	0,5	11± 1,3	14,8± 0,9	0,4
Зеленая	ЗТ-1*	70,3± 3	4± 1,5	0,8	11± 1,3	14,3± 0,9	0,3
	ЗТ-4**	67,4± 3	4± 1,5		11± 1,5	14± 0,9	0,3
Коричневая	КТ-1	71,1± 2	3,3± 1,3	0,5	11± 1,3	14,3± 0,9	0,3

*Содержание Cr_2O_3 0,1± 0,05%.

**Содержание Fe_2O_3 и Mn_3O_4 по 1,5± 0,5%.

Для данных составов характерны следующие физико-химические свойства и характеристики:

Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), 1/°С	$(91-100) 10^{-7}$
Плотность, кг/м³	2460–2510
Пропускание в области спектра 400–700 нм в пересчете на толщину стекла 3 мм, %, не менее	
бесцветные	80
полубелые	65
зеленые	20
коричневые (в области спектра 540–560 нм)	15–60

§ 4. РЕЖИМЫ ВАРКИ СТЕКЛА

Стекло для тары варят в ванных печах непрерывного действия и лишь в отдельных случаях высокосортное обесцвеченное или окрашенное стекло для парфюмерной тары варят в горшковых или периодических ванных печах. Размеры и конструкции стекловаренных печей для стеклянной тары определяются количеством и цветом стекла, а также способом его выработки. При механизированном производстве стеклянной тары применяют печи с протоком, которые имеют ряд конструктивных особенностей:

а) варочный бассейн отделен от выработочного и соединен с ним протоком;

б) оба бассейна перекрыты общим сводом, однако пространство разделено решетчатой стеной-экраном, благодаря чему лишь необходимое количество пламенных газов может проникать из варочной в выработочную часть печи; полное разделение пламенного пространства варочной

и выработочной частей печи без дополнительного отопления возможно при малой площади выработочной части (менее 10% варочной части), высокого удельного съема (2 т/м^2 в сутки и выше) и полной теплоизоляции выработочной части;

в) поперечное или подковообразное направление пламени; используются также печи прямого нагрева с рекуператором;

г) как правило, секционные регенераторы, что дает возможность регулировать режим работы каждой горелки (или пары горелок);

д) глубину бассейна 900–1200 мм для варки светлого стекла, не более 900 мм при варке окрашенного стекла, глубину выработочного бассейна на 300–600 мм меньше глубины варочного;

е) теплоизоляцию элементов печи.

Размеры варочной части печи определяются необходимым количеством стекломассы и нормой съема стекла с 1 м^2 зеркала. Одним из важнейших факторов высокопроизводительной работы стеклоформующих автоматов является их питание химически и термически однородной стекломассой. Для этого необходимо соблюдать постоянный состав шихты, соотношение шихты и боя стекла, а также принятый режим питания печи. Решающим условием является также стабильность температурного режима ванной печи. Колебания температур вызывают изменения в потоках стекломассы и затягивание в производственные потоки слоев застоявшейся стекломассы, отличающейся по составу и вязкости от стекломассы производственного потока. В этом случае неизбежно формование изделий из неоднородной стекломассы, в результате чего их механическая прочность и термостойкость будут низкими. Высокая температура варки стекломассы необходима и в том случае, если по производственным условиям увеличивается количество вводимого стекольного боя.

При температурах варки 1500–1550°C и выше допускаются колебания температуры кладки печи: ±10°C в зоне варки и ±5°C в зоне чистого зеркала стекломассы.

Производительность печи должна быть постоянной во времени. Содержание оксидов железа в полубелой и окрашенной стекломассе должно быть постоянным, так же как и соотношение FeO/Fe_2O_3. Изменение этого соотношения ведет к изменению пропускания стекломассой тепловых лучей, нарушению характера потоков стекломассы, ухудшению ее качества. Так, уменьшение общего содержания оксидов железа ведет к усиленному прогреву стекломассы и вовлечению в производственные потоки придонных слоев, отличающихся от основной стекломассы как по составу, так и по теплопрозрачности.

При варке стекломассы из содово-сульфатной шихты температура засыпочного кармана должна быть не ниже 1400°C. При нормальной активной варке шихта оплавляется сразу по выходе из засыпочного кармана. На периферии гряд или островков шихты выделяются крупные пузыри продуктов реакций. При варке сульфатных шихт с восстановителем в зоне варки и за ее пределами не должно наблюдаться выделения щелоков или появления плотной варочной пены с включениями SiO_2 в виде кристобалита. Если они появились, следует проверить содержание влаги, песка, сульфата натрия и восстановителя в шихте и внести соот-

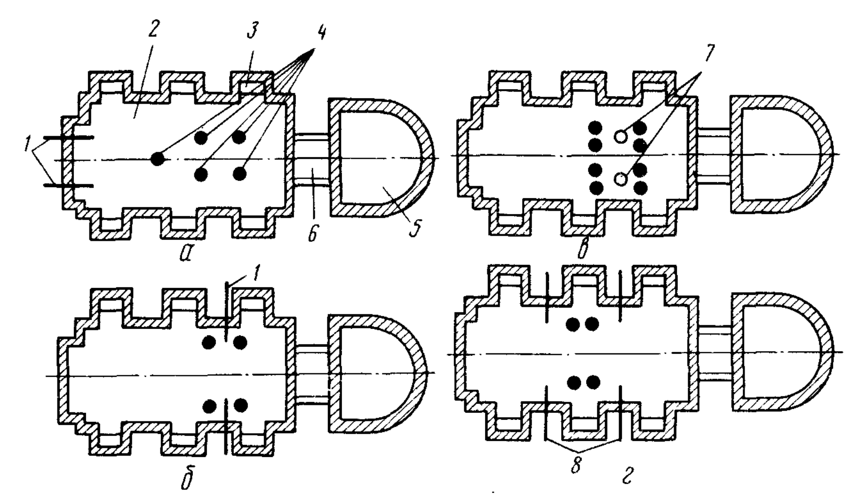


Рис. VII.1. Схемы газоэлектрических печей:
1 – горизонтальные электроды; *2* – варочный бассейн; *3* – горелки; *4* – донные электроды; *5* – выработочный бассейн; *6* – проток; *7* – сопла бурления; *8* – наклонные электроды

ветствующие изменения. Необходимо также проверить и, если нужно, откорректировать тепловой и газовый режимы в зоне варки.

В производстве стеклянной тары большое внимание уделяется интенсификации стекловарения. Применение кондиционных сырьевых материалов, хорошее смешивание и последующее гранулирование или фриттование шихты – значительный резерв интенсификации стекловарения и повышения производительности стекловаренных печей. Введение ускорителей – доменного шлака, химически активных компонентов (едкого натра, соединений лития и т.п.) позволяет повысить производительность печей на 10–15%.

В настоящее время в производстве тарного стекла широко используется бурление стекломассы, которое особенно эффективно при производстве изделий из стекла пониженной теплопрозрачности.

К термическим методам интенсификации относится высокотемпературная варка стекла. Основное требование к конструкции высокопроизводительных стекловаренных печей с пламенным отоплением для механизированного производства стеклотары – это обеспечение высокотемпературных (до 1600–1650°C) режимов варки стекла, что позволяет повысить удельные съемы стекломассы до 3,5 т/м^2 в сутки. Загрузочные карманы в печах должны выполняться закрытыми, что предупреждает возможность выбивания факела из печи и подсоса холодного воздуха. Особое внимание следует уделять рациональной организации факела и подогреву воздуха для горения. Наилучшие результаты дает подогрев воздуха в регенераторах галерейного типа с высотой насадки 8–10 м, которые позволяют подогревать воздух до 1400–1450°C.

Мощным средством интенсификации процессов стекловарения является электротермия. Перспективно применение печей с комбинированным

отоплением (газоэлектрических). Доля электроподогрева в общем балансе тепла определяется экономическими соображениями. Теоретические расчеты показывают, что наиболее целесообразно получать около 30–40% тепла за счет электроэнергии (снизу) и 60–70% за счет сжигания жидкого или газообразного топлива (сверху). Практически доля тепла, получаемого электроподогревом, составляет 10–30% его общего количества. Весьма интенсивен процесс стекловарения, когда электроподогрев сочетается с бурлением.

На рис. VII.1, *а–г* приведены схемы газоэлектрических печей с различным расположением электродов, применяемых в производстве стеклянной тары.

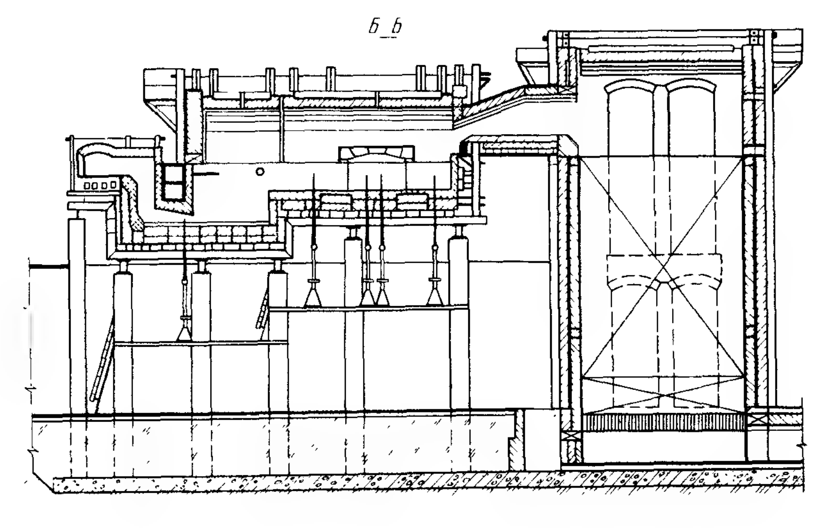
Повышение общей производительности печей и удельных съемов стекломассы диктуют необходимость существенных конструктивных изменений стекловаренных печей (рис. VII.2). В ванной газоэлектрической печи направление пламени подковообразное, горелки с регулируемой длиной факела. При применении электротермии целесообразны печи с подковообразным направлением пламени из-за компактности, лучшего использования топлива, хорошей настильности факела.

Увеличение производительности печи и необходимость уменьшения расхода топлива требуют оптимального распределения в ней шихты. Обычные загрузочные карманы не могут дать хороших результатов. В связи с этим на данной стекловаренной печи применены усовершенствованные загрузочные карманы, приспособленные для работы загрузчиков с меняющимся направлением загрузки (изменение направления загрузки показано стрелками). Благодаря двухстороннему расположению загрузчиков достигается равномерное распределение шихты в печи, ее быстрый провар.

Дополнительный электроподогрев предусматривает установку электродов трех групп: I – 10 донных в зоне варки, расположенных в виде треугольника; II – 10 донных, расположенных в один ряд в зоне максимальных температур; III – 6 горизонтальных, расположенных в боковых стенах зоны осветления на глубине 250 мм от верхней кромки бассейна.

Зона осветления заглублена для улучшения охлаждения стекломассы, что необходимо для увеличения удельных съемов. Выработочная часть представляет собой две системы каналов с индивидуальными протоками. Каждая система каналов рассчитана на три машинолинии для производства узко- или широкогорлой тары. Применение канальной системы обусловлено необходимостью быстрого охлаждения стекломассы до температур выработки. Температура варки в газоэлектрической печи 1550°С. Кладка печи выполнена из высокостойких огнеупоров в соответствии с рекомендациями, изложенными в гл. III.

Для интенсификации процесса стекловарения печи в производстве стеклянной тары оснащают системами и средствами автоматического управления режимами. Информация о текущих параметрах работы печей, выдаваемая контрольно-измерительными приборами, служит сигналом для изменения расхода топлива, воздуха, разрежения в дымовой трубе



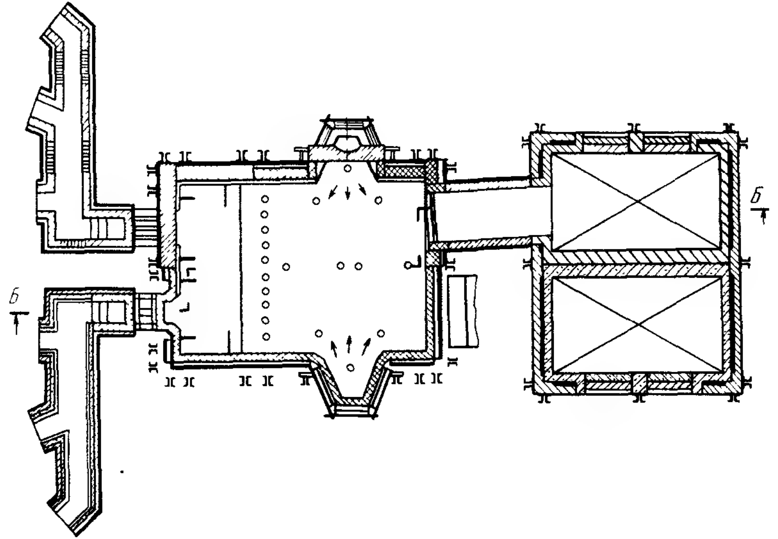


Рис. VII.2. Высокопроизводительная газоэлектрическая печь для варки тарного стекла

с таким расчетом, чтобы они соответствовали заданным. В настоящее время на стекловаренных печах работают автоматические системы изменения направления пламени, загрузки шихты и боя, поддержания постоянного расхода топлива, соотношения его с воздухом, режимов бурления стекломассы. Автоматизация режимов позволяет стабилизировать работу стекловаренной печи и стеклоформующего оборудования на высоком уровне, значительно повысить качество продукции.

§ 5. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ВЫРАБОТКА СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

Стеклянная тара может изготовляться на высокопроизводительных стеклоформующих автоматах, которые в зависимости от вида стеклоизделий могут иметь различные принципы действия, конструкцию и производительность. Стеклоформующие автоматы работают совместно с питателями.

Питатели

Питатели представляют собой отапливаемые огнеупорные желоба со встроенными системами охлаждения и обогрева.

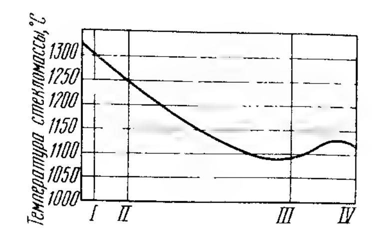
В зависимости от вида и способа изготовления стеклянной тары питатели могут подавать стекломассу в виде порций или капель равной массы через равные интервалы времени.

Наибольшее распространение получили капельные питатели (рис. V.3). Питатели изготавливают с газовым, жидкостным, электрическим и комбинированным отоплением. По числу подаваемых за один цикл работы капель различают одно-, двух-, трех и четырехкапельные питатели. Длина питателей зависит от съема стекломассы (2,5–8 м). Канал питателя состоит из зон охлаждения и кондиционирования (выравнивания) с чашей.

На рис. VII.3 приведена кривая охлаждения стекломассы в питателе при выработке крупных изделий из обесцвеченного стекла. В чаше питателя рекомендуется лишь незначительный (25–30°C) подогрев стекломассы до рабочей температуры, чтобы избежать пороков, связанных с вторичным подогревом. При незначительном расходе стекломассы (мелкие изделия) температура изменяется незначительно (кривая приближается к прямой линии).

При движении по каналу и в чаше питателя температура стекломассы должна быть однородной. Это достигается путем комбинации отопления и теплоизоляции канала и чаши. Однако достичь температурной однородности окрашенной стекломассы (например, зеленой стекломассы, окрашенной оксидами железа), обычно имеющей малую теплопрозрачность, довольно сложно. Хорошую теплопрозрачность имеют стекла, окрашенные оксидами хрома. Внедрение таких стекол на заводах вместо стекол, окрашенных оксидами железа, улучшило процесс формования, о чем свидетельствует опыт работы ряда стекольных заводов. В связи с повышением требований к качеству изделий повышаются требования и к однородности стекломассы в питателе, для чего ее усредняют с помощью перемешивающих устройств, электроподогрева.

Когда капля имеет неравномерную температуру, из нее нельзя получить изделия с хорошим распределением стекла. Обычный брак изделий в этом случае – продутость и залив. Значительное количество брака получается при отклонении температуры капли от оптимальной. Горячая капля вытянута, при падении в черновую форму образует складки, что неблагоприятно отражается на формовании. Формы, принимая слишком горячие капли, перегреваются, в результате приходится уменьшать скорость работы автоматов. Кроме того, стеклоформующие автоматы дают много



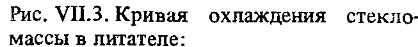


Рис. VII.3. Кривая охлаждения стекломассы в питателе:
I – выработочная часть стекловаренной печи; *II* – пеноочистительный шибер; *III* – разделительный блок; *IV* – очко питателя (*II–III* – зона охлаждения, *III–IV* – зона кондиционирования)

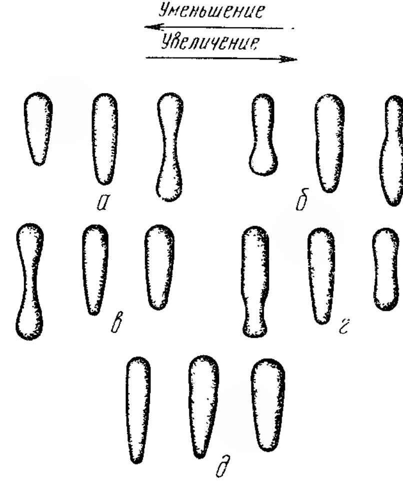


Рис. VII.4. Изменение формы капли стекломассы в зависимости от температуры стекла, длительности цикла загрузки, высоты цилиндра и плунжера (*а*), разности между моментами отрезания капли и началом подъема плунжера при постоянной массе капли (*б*), хода и диаметра плунжера (*в*), высоты отрезания при постоянной массе капли (*г*), диаметра очка (*д*)

брака из-за прилипания стекла к форме, деформации изделий и т.п. Влияет на работу стеклоформующих автоматов и порождает специфический брак также и холодная капля. Появляется кованость на поверхности изделий, увеличивается количество посечек и возрастает возможность появления других видов брака.

Большое значение для формования изделий, особенно выдувных, имеет форма капли, которая регулируется в достаточно широких пределах (рис. VII.4).

Питатели у выработочной части печи располагаются обычно веерообразно. При канальной системе распределения стекломассы расположение питателей может быть параллельным.

Создание стеклоформующих автоматов высокой производительности с двух- и трехместными формами, тенденция к уменьшению массы изделий предъявляют к питателям новые технические требования. Для получения двух и трех капель стекломассы за один цикл работы питателя и для их одновременной подачи в заданный момент в формы автомата необходим строгий технологический режим работы питателя. Последнее обстоятельство особенно важно при подаче двух капель в стеклоформующие автоматы роторного типа с непрерывным вращением столов. В таких условиях для получения однородной стекломассы целесообразно применять питатели с комбинированным газоэлектрическим подогревом. В последнее время созданы трех- и четырехкапельные питатели для секционных стеклоформующих автоматов и струйно-порционные питатели для конвейерных автоматов.

При вакуумном питании в стекломассу, находящуюся в выработочной части печи или в специальных устройствах, погружается черновая форма.

Благодаря разрежению в полость черновой формы засасывается стекломасса. По сравнению с капельным питанием при вакуумном питании довольно сильно меняется перепад температур к середине (в продольном направлении) черновой формы. Одним из условий выработки изделий высокого качества на вакуумно-выдувных автоматах является температурная однородность всасываемой стекломассы. В результате погружения относительно холодной черновой формы в стекломассу последняя в месте всасывания значительно охлаждается, ее температурная неоднородность увеличивается при падении в ванну холодного жгута стекломассы, отрезаемого при подъеме и удалении формы от зеркала стекломассы. Поэтому для обеспечения температурной однородности при наборе стекломассы применяют специальные устройства: керамическую лодочку для предотвращения попадания холодного жгута в место набора; керамическую мешалку в виде плоского диска, погруженную ниже уровня стекломассы; вращающуюся обогреваемую чашу со стекломассой.

Стеклоформующие евтоматы

В производстве стеклянной тары работают стеклоформующие автоматы различных конструкций: карусельные, секционные и конвейерные.

Карусельные автоматы. Автоматы имеют два поворотных стола, на которых монтируют формовой инструмент с устройствами, приводящими его в действие.

Карусельные автоматы могут быть **цикличными** – с прерывистым вращением столов и **роторными** – с непрерывным вращением столов. Особенность карусельных автоматов – подача порции стекломассы непосредственно под очком питателя. Благодаря вращению столов под очко питателя подходят последовательно все формы автоматов. Это обстоятельство делает конструкцию автоматов сравнительио компакт-ной и дает возможность применять ее в низких зданиях машинованных цехов. Карусельные автоматы могут иметь 6, 7, 8, 10 и 12 форм. Формовые комплекты выполняются одно- или двухместными. Существенным недостатком карусельных автоматов является необходимость полного останова при неисправности одного из узлов. К стеклоформующим карусельным автоматам относятся 2ЛАМ, АБ-6, ВВ-7 и ВВ-12 (СССР), "Линч-10" и "Линч-16В" (США), "Руаран"–R-7 и S-10 (Бельгия).

На карусельных цикличных автоматах впервые стали изготовлять бутылки. Эти автоматы эксплуатируются и сейчас (2ЛАМ, АБ-6, "Линч-10", ПВМ-12). Автоматы данного типа могут работать при одно- или двухкапельном питании с 6 или 12 формами.

Последовательность операций в выдувных автоматах 2ЛАМ и АБ-6 показана на рис. VII.5. Капля *1*, отрезанная ножницами питателя, падает в закрытую черновую форму, состоящую из двух половинок и установленную горлом вниз. Стекломасса не может сама заполнить пространство между внутренней поверхностью горлового кольца *2* и металлическим керном *3*. Для оформления горла изделия на стекломассу в форме давят сжатым воздухом с помощью прессующей головки *4*, которая опускается на черновую форму после подачи капли (позиция *I*). Затем стол авто-

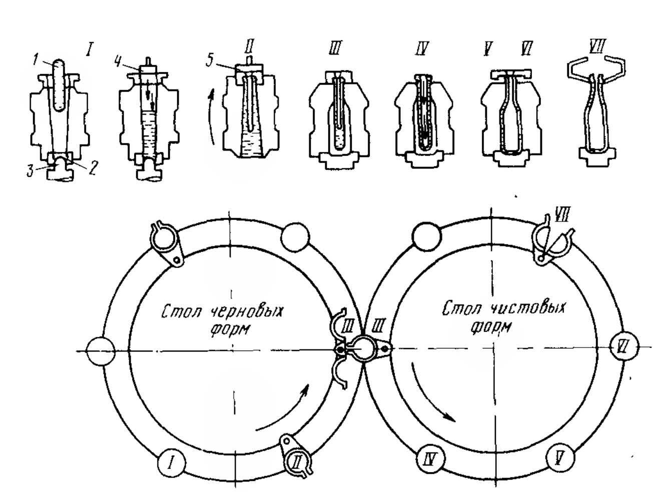


Рис. VII.5. Схема технологического процесса изготовления бутылок на карусельных цикличных машинах типа АБ-6

мата поворачивается на 60°, в результате черновая форма на пути от позиции *I* до позиции *II* поворачивается на 180°, т.е. устанавливается горлом вверх. На позиции *II* производится предварительное выдувание с помощью дутьевой головки *5* пульки со стороны горла через углубление в стекломассе, сделанное керном на предыдущей позиции.

На позиции *III* пулька передается из черновой формы в чистовую. При раскрывании черновой формы пулька удерживается в горловом кольце. Пока пулька еще висит в горловом кольце, половинки черновой формы открываются настолько, что открытые половинки чистовой формы могут ее обхватить. Одновременно с закрыванием чистовой формы открывается горловое кольцо и освобождает пульку. В чистовой форме на позициях чистового стола *IV–VII* готовое изделие выдувается и выдается на конвейер для подачи к печи отжига. На свободных позициях чернового и чистового столов происходит охлаждение, очистка и смазка форм.

Автомат "Линч-10" формует изделия подобным же способом, но имеет следующие отличия и особенности:

прием капли начинается на позицию раньше, чем на автоматах 2ЛАМ и АБ-6;

выдувание пульки происходит в положении горлом вниз;

черновая форма приоткрывается сразу после ее переворачивания, что улучшает условия вторичного разогревания пульки (поверхностных затвердевших слоев);

изделия выдуваются проточным воздухом, что ускоряет фиксацию их формы;

формование горла возможно сжатым воздухом и с помощью вакуума.

Несмотря на ряд усовершенствований, производительность карусельных машин цикличного действия недостаточна. Основным препятствием

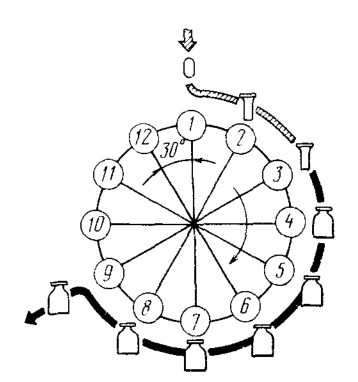


Рис. VII.6. Последовательность технологических операций на машинах типа ПВМ правого вращения (заштрихованной линией показан путь черновой формы, сплошной – путь чистовой формы)

на пути увеличения производительности является необходимость остановов стола для приема капли. Технологические операции выполняются в основном во время пауз. Вследствие прерывистого вращения столов возникают значительные инерционные нагрузки, отрицательно влияющие на долговечность и надежность оборудования.

Прессовыдувные автоматы. На таких автоматах вырабатывают широкогорлую стеклянную тару. Эти автоматы изготовляют изделия в два приема: сначала выпрессовывают пульку и окончательно оформляют горло тары, а затем пульку раздувают сжатым воздухом до размеров и формы готового изделия (см. рис. V.7).

На стекольных заводах работают автоматы ПВМ-12, 2ПВМ-12, 2ПВМ-3 и 3ПВМ-12 левого и правого вращения.

В черновую форму из питателя капля может подаваться свободным падением и по лотку. На позиции *1* (рис. VII.6) капля стекломассы поступает в черновую форму. Из капли после прессования в черновой форме получается пулька и оформляется горло тары (позиция *2*). На позиции *3* пулька из черновой формы передается в чистовую. Уже на пути к позиции *3* черновая форма опускается по наклонной направляющей, освобождая корпус пульки. Начиная с позиции *3*, черновая форма идет понизу без стекла вплоть до позиции *12*, где она поднимается для того, чтобы вступить в следующий цикл работы.

Пулька остается висеть в горловом кольце, держась в нем выступами горла. На пути между позициями *3* и *4* вокруг пульки закрывается чистовая форма. На позициях *4–6* происходит окончательное выдувание из пульки готового изделия с помощью трех дутьевых головок, которые в момент останова столов опускаются на горловые кольца и вдувают воздух в изделие. На позициях *7* и *8* закрепляется форма изделия – через открытое горло дополнительно вентилятором вдувается воздух. Между этими позициями специальная направляющая раскрывает горловое кольцо, обнажая горло изделия для охлаждения. На позиции *9* чистовая форма полностью открывается (предварительное открывание чистовой формы происходит между позициями *8* и *9*).

Начиная с позиции *9*, чистовая форма движется раскрытой до позиции *3* следующего цикла работы. На позиции *9* изделие вынимают из раскрытой чистовой формы отставителем и переносят на конвейер, ведущий к печи отжига.

На позициях *10–12* формы охлаждаются и автоматически смазываются, здесь их проверяют и очищают от стекла.

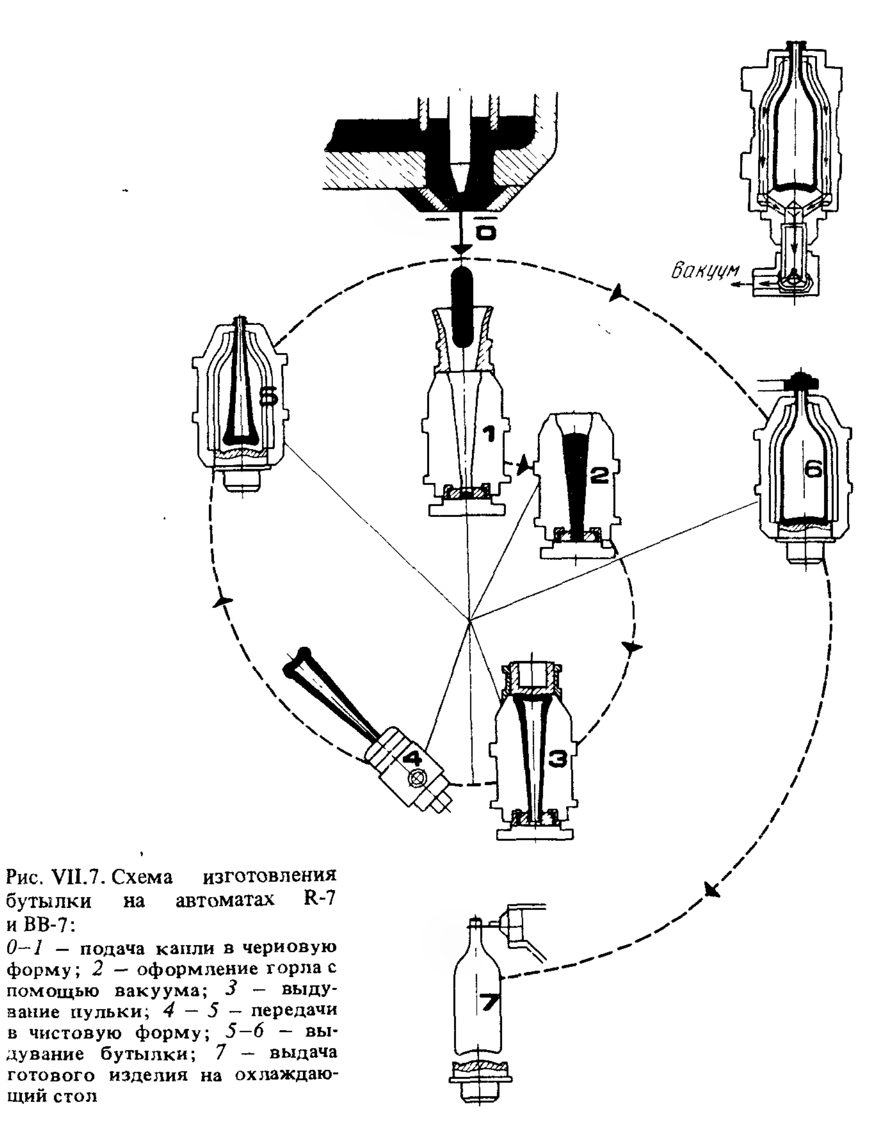


Рис. VII.7. Схема изготовления бутылки на автоматах R-7 и ВВ-7:
0–1 – подача капли в черновую форму; *2* – оформление горла с помощью вакуума; *3* – выдувание пульки; *4 – 5* – передачи в чистовую форму; *5–6* – выдувание бутылки; *7* – выдача готового изделия на охлаждающий стол

Для выработки банок вместимостью 0,2–2 л используют автоматы 2ПВМ-12 двухъячейкового исполнения, для изготовления консервной тары вместимостью 1–3 л в двухместных формах – автомат 3ПВМ-12, который работает по тому же принципу, что и автомат 2ПВМ-12, и отличается от него большими размерами и конструктивным исполнением отдельных узлов.

В **роторных непрерывно вращающихся автоматах** для выработки бутылок в отличие от автоматов цикличного действия предусмотрено двухэтажное размещение черновых и чистовых форм. Выдувные кару-

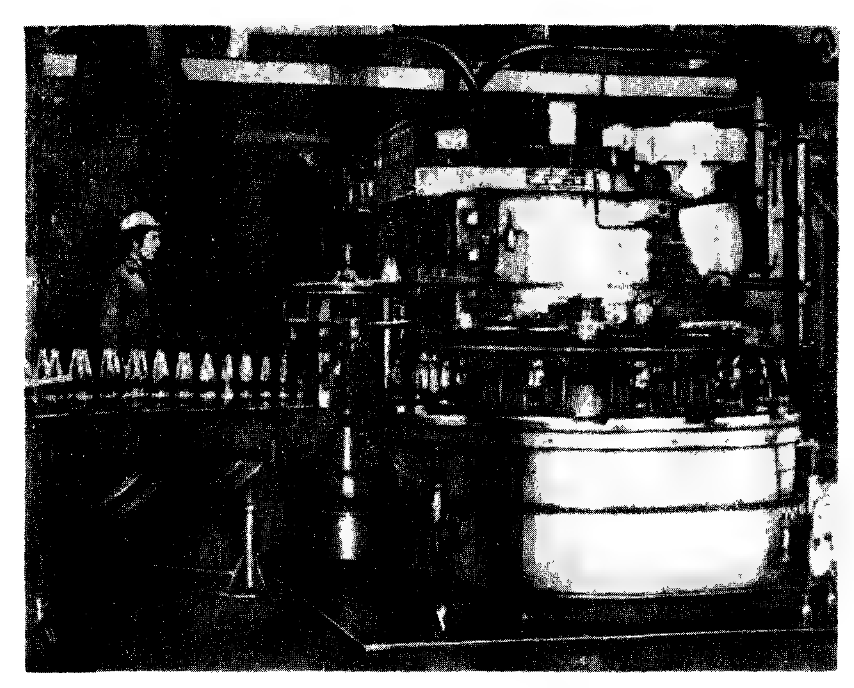


Рис. VII.8. Роторный автомат S-10 для выработки бутылок

сельные автоматы роторного типа R-7 и созданные на их базе автоматы ВВ-7 имеют по семь черновых и чистовых комплектов (рис. VII.7).

Процесс формования изделий заключается в следующем. Перед приемом капли черновую форму смазывают с помощью двух форсунок высокого давления. В момент подачи капли в горловой части черновой формы создается вакуум. Действие вакуума прекращается после выхода из горловой части металлического плунжера. За это время направляющая воронка отводится в сторону, а обращенную дном вверх черновую форму замыкает сверху донный затвор. Происходит выдувание пульки снизу вверх. Затем черновая форма открывается и пулька, повернувшись с горловыми кольцами на 180°, переходит на чистовой стол, где после раскрывания горловых колец производится выдувание изделия. Перед раскрыванием чистовой формы действие вакуума прекращается, отставитель захватывает изделие за горловую часть и устанавливает его на охлаждающий столик.

Охлаждающий столик с решеткой снизу предназначен для охлаждения изделий снаружи. В отличие от автомата он совершает прерывистое движение. На столике можно устанавливать устройства для внутреннего охлаждения изделий или для оплавления горла.

Формы автомата охлаждаются воздухом, который поступает от вентилятора в полую центральную колонну, а затем через специальные каналы подводится к регулируемым воздушным патрубкам.

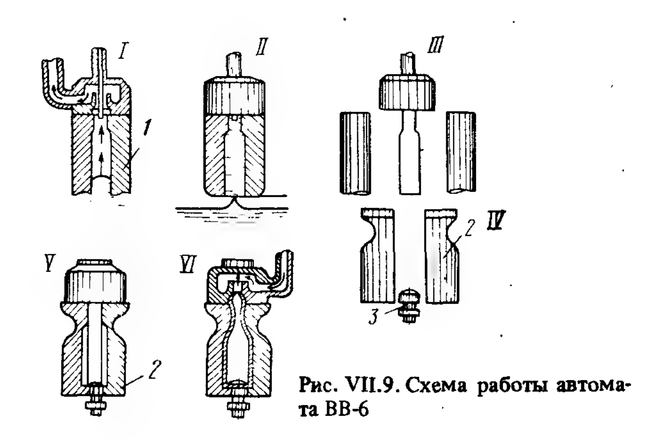


Рис. VII.9. Схема работы автомата ВВ-6

Роторные автоматы могут быть оборудованы одно- и двухместными формами. Их производительность при однокапельном питании до 50, а при двухкапельном до 80 бутылок в 1 мин.

По принципу действия автоматы S-10 и ВВ-12 аналогичны автоматам ВВ-7 и R-7. Они имеют механический привод и соответственно по 10 и 12 черновых и чистовых форм. Четные числа секций позволяют вырабатывать на автомате одновременно два вида изделий одинаковой массы, в том числе и изделия, имеющие разные высоту или диаметр горловой части. Автоматы предназначены главным образом для выработки бутылок средней вместимости (0,2–0,7 л). Роторный автомат S-10 для выработки бутылок показан на рис. VII.8.

Роторный шестипозиционный автомат ВВ-6 с вакуумным питанием предназначен для изготовления мелкой (вместимостью 0,01–0,1 л) стеклянной тары. Автоматы выпускаются с правым и левым вращением стола.

Формование изделий на автомате (рис. VII.9) начинается с опускания черновой формы *1* с горловым кольцом в выработочную часть ванной печи. При контакте заборной части формы с расплавленной стекломассой под действием вакуума она засасывается в черновую форму. Одновременно керном выдувной головки оформляется горло изделия (позиция *I*). После подъема черновой формы "хвост" стекломассы отсекается ножом (позиция *II*) и в нее подается сжатый воздух для предварительного выдувания пульки. При раскрывании черновой формы пулька удерживается в горловом кольце (позиция *III*). Раскрытая чистовая форма *2* с поддоном *3* поднимается (позиция *IV*) и закрывается вокруг пульки, а через выдувную головку подается сжатый воздух (позиции *V–VI*). Затем горловые кольца раскрываются и готовое изделие в чистовой форме опускается для окончательного охлаждения. При раскрывании и подъеме чистовой формы готовое изделие попадает на приемный конвейер.

Секционные автоматы. Секционные автоматы состоят из отдельных секций, которые работают независимо друг от друга и представляют собой самостоятельные стеклоформующие автоматы. К ним относятся автоматы АВ-6 (СССР), "Гартфорд IS" (США) с 6, 8 и 10 секциями, причем каждая

секция может иметь одно-, двух,- трех- или четырехместные формы; AL-106 (Чехословакия).

Преимущества секционных автоматов перед карусельными:

более высокий коэффициент использования: каждая секция может включаться и выключаться независимо от работы других секций;

универсальность: при небольшой переналадке на них можно вырабатывать узко- и широкогорлую стеклянную тару, а также мелкие прессованные изделия;

возможность одновременной выработки в каждой секции различных видов изделий одинаковой массы и с одинаковой продолжительностью формования; при этом время технологических операций в каждой секции можно регулировать в относительно широком диапазоне;

отсутствие вращающихся столов с формами и, следовательно, исключение необходимости применения больших усилий на их вращение и торможение;

минимальное число быстроизнашивающихся деталей;

легкость и относительная безопасность обслуживания;

возможность параллельной установки под одним питателем двух автоматов, что резко повышает производительность линий.

Недостатком, затрудняющим применение секционных стеклоформующих автоматов, является их большая высота. Для установки шестисекционного автомата необходимо, чтобы расстояние от пола машинного участка до уровня зеркала стекломассы в питателе составляло 3810–4110 мм.

Движением отдельных механизмов секционных автоматов и регулированием продолжительности отдельных операций управляют с помощью пневматических или электронных синхронизирующих устройств.

Способом двойного выдувания (рис. VII.10, *а*) вырабатывают узкогорлые изделия. В черновую форму, установленную горловой частью вниз, через направляющую воронку подается капля стекломассы (позиция *I*). Горловую часть формы в этот момент замыкают горловые формы и металлический плунжер. Капля стекломассы запрессовывается в горловую часть формы подаваемым сверху сжатым воздухом – происходит уплотнение пульки и формование горла (позиция *II*). В период выхода металлического плунжера из отверстия для начального дутья внутренняя часть горла разогревается теплом стекломассы. Подаваемый в отверстие сжатый воздух (позиция *III*) выдувает пульку и одновременно охлаждает металлический плунжер. После раздувания пульки черновая форма открывается и пулька, которую поддерживают закрытые горловые кольца, повернувшись на 180° (из положения горлом вниз в положение горлом вверх), подается в открытую чистовую форму (позиция *IV*). С момента открывания черновой формы и до момента начала выдувания в чистовой форме наружная часть пульки подогревается за счет тепла внутренних слоев стекломассы (позиции *IV–V*). В чистовой форме происходит окончательное чистовое выдувание изделия (возможно применение системы вакуумного формования – позиция *VI*). Дутьевая головка чистового стола машины имеет устройство, которое позволяет совме-

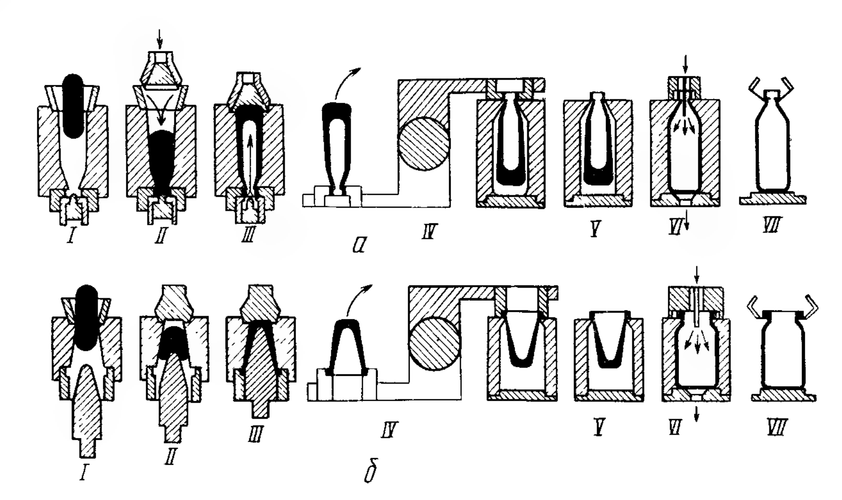


Рис. VII.10. Схемы изготовления стеклянной тары на секционных автоматах

щать процесс выдувания с процессом охлаждения изделия изнутри – продуванием (позиция *VI*). По данным некоторых зарубежных фирм, с помощью такого устройства можно повысить производительность машины на 10%. По окончании выдувания чистовая форма открывается, и отставитель хватками устанавливает изделие сначала на охлаждающий столик (позиция *VII*), а потом – на конвейер.

Прессовыдувным способом на секционных машинах изготовляют широкогорлую тару (рис. VII.8, *б*). В этом случае после подачи капли стекломассы (позиция *I*) прессуется баночка или пулька и оформляется горло (позиции *II*, *III*). Далее следует переворот пульки на 180°, перенос ее в чистовую форму (позиции *IV–V*) и окончательное выдувание изделия (позиции *VI–VII*) аналогично описанному выше.

В последнее время прессовыдувной способ используют также и для формования узкогорлой стеклянной тары (по разработкам фирмы "Хайе Глас", ФРГ). На секционных машинах можно также получать небольшие прессованные парфюмерные и аптекарские баночки. В этом случае операция выдувания отсутствует.

Конвейерные автоматы. Конвейерные автоматы относятся к новому типу высокопроизводительных машин со струйным и струйно-порционным питанием. Такие стеклоформующие автоматы создают и испытывают зарубежные фирмы. Наиболее перспективны разработки фирмы "Хайе Глас" (ФРГ), которая создала принципиально новый конвейерный автомат для высокопроизводительной выработки стеклянной тары. В основу этой машины положены следующие принципы:

прессовыдувное формование узкогорлой стеклянной тары;

подача порции стекломассы непосредственно в черновую форму (без направляющих воронок и лотков);

широкая возможность использования регулирования повторного прогрева чернового изделия (регулируемая длиной конвейера);

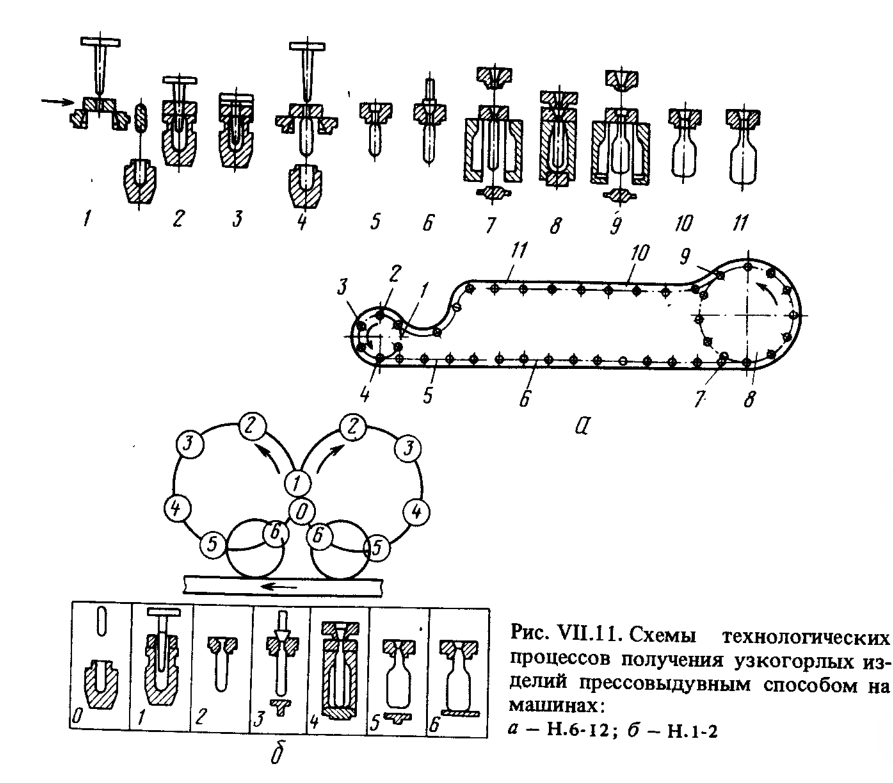


Рис. VII.11. Схемы технологических процессов получения узкогорлых изделий прессовыдувным способом на машинах:
а – Н.6-12; *б* – Н.1-2

конвейерная организация технологического процесса и передачи заготовок от стола черновых форм к столу чистовых форм;

новые конструкции черновых форм, состоящих из цельной донной и разъемной верхней частей;

струйно-порционное питание черновых форм.

Стеклоформующий автомат Н.6-12, разработанный на основе указанных принципов, может иметь одно-, двух и трехместные формы. Он состоит из двух столов для черновых и чистовых форм. На первом из них шесть черновых, на втором – 12 чистовых форм. При многокапельном питании число форм в одном блоке соответственно увеличивается. Автомат может работать в трех основных режимах: нормальном, ускоренном и замедленном. В соответствии с режимом изменяется расстояние между столами за счет изменения длины конвейерной цепи горловых колец.

Формование изделий производится следующим образом. На позиции *1* (рис. VII.11, *а*) порция стекломассы подается в неразъемный стакан-поддон черновой формы. В позиции *2* закрываются половинки верхней части черновой формы, служащие для формования плечиков пульки, и начинается прессование длинным плунжером, продолжающееся на позиции *3*. К позиции *4* прессование пульки заканчивается, верхние половинки формы разводятся, и стакан-поддон опускается. Удерживаемая горловым кольцом пулька (позиция *5* и *6*) переносится конвейером к столу чистовых форм. При движении пульки от стола черновых форм к столу чистовых форм происходят оттяжка и вторичный подогрев пульки. В зависимости от массы и вида вырабатываемых изделий этот путь можно удлинить или укоротить, передвигая стол чистовых форм относительно неподвижного стола черновых форм и меняя число горловых колец. На позициях *7* и *8* пулька охватывается половинками чистовой формы, после чего начинается выдувание изделия. На позиции *9* чистовая форма раскрывается, и готовое изделие переносится (позиция *10*) до установки его на конвейере (позиция *11*).

Скорость выработки на автомате составляет 200–600 шт./мин.

Наибольшая эффективность автомата достигается при выработке легковесных и сверхлегковесных изделий. Однако в большинстве стран (кроме США) принято многоразовое использование наиболее употребительной стеклянной тары, и в нашей стране оно (как экономически эффективное) является обязательным. Поэтому производство и применение легковесной стеклянной тары может иметь успех в преобладающем большинстве стран только при условии сохранения прочности и эксплуатационной надежности тары, обеспечивающей целостность ее при многократном использовании.

Несмотря на высокую производительность автоматов, еще не обеспечена их длительная и стабильная работа, не найдена оптимальная номенклатура изделий, автоматы сложны и громоздки.

Стремление повысить компактность машины при сохранении основных принципов формования привело к созданию роторного двухстольного автомата Н.1-2, который можно рассматривать как модификацию конвейерной машины (сближение столов, ликвидация конвейера), схема работы которого приведена на рис. VII.11, *б*.

Формование изделий осуществляется на обоих вращающихся столах машины Н.1-2. Позиции подачи капли *О* и прессования пульки *1* общие для двух столов. Далее в процессе передачи (позиции *2* и *3*) пульки на чистовое формование проводится ее вторичный разогрев и, при необходимости дополнительные операции (ограничение вытягивания пульки, подача воздуха и т.п.). На позиции *4* происходит выдувание изделий в чистовой форме, на позиции *5* изделия, и особенно их дно, охлаждаются. На позиции *6* готовые изделия выдаются на вращающийся диск, который передает их на конвейер подачи к печи отжига.

Следует отметить, что прессовыдувной способ изготовления узкогорлой тары может быть применен и на секционных стеклоформующих автоматах, для чего необходима специальная конструкция узла чернового формования.

Технологические линии в производстве стеклянной тары

Стеклянную тару производят на механизированных технологических линиях, оборудование на которых расставлено в следующем порядке: стекловаренная печь, питатель стекломассы, стеклоформующая машина, пластинчатый конвейер, переставитель изделий в печь отжига, съемник изделий, участок контроля, установка для упаковки изделий. Участок

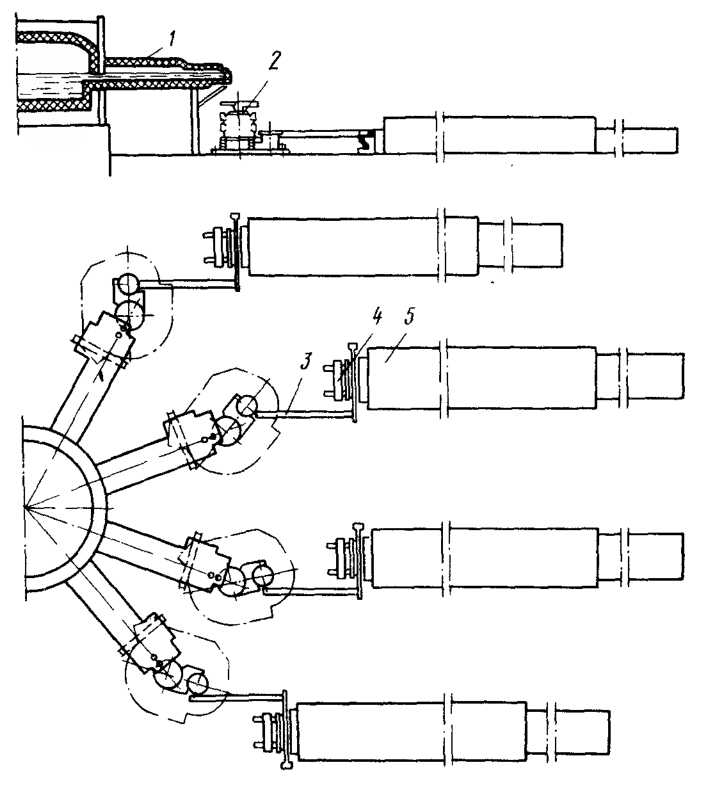


Рис. VII.12. Схема установки автоматических линий с роторными машинами у стекловаренной печи:
1 – питатель; *2* – стеклоформующая машина; *3* – горячий конвейер; *4* – переставитель; *5* – печь отжига

технологической линии питатель – печь отжига полностью автоматизирован.

Следует отметить, что на стеклотарных заводах еще недостаточно механизированными являются конечные операции: участки контроля, упаковки и транспортировки готовых изделий. На ряде стеклотарных заводов на этих участках занято до 30% цехового персонала, поэтому важными и актуальными являются задачи механизации и автоматизации конечных операций.

В зависимости от ассортимента вырабатываемых изделий и требований к ним в состав механизированной технологической линии включают, например, установки для упрочнения изделий. Обычно у стекловаренной печи располагается несколько линий, на каждой из которых можно изготовлять изделия, различные по массе, вместимости и конфигурации.

Для технического перевооружения отечественных стеклотарных заводов созданы автоматические линии:

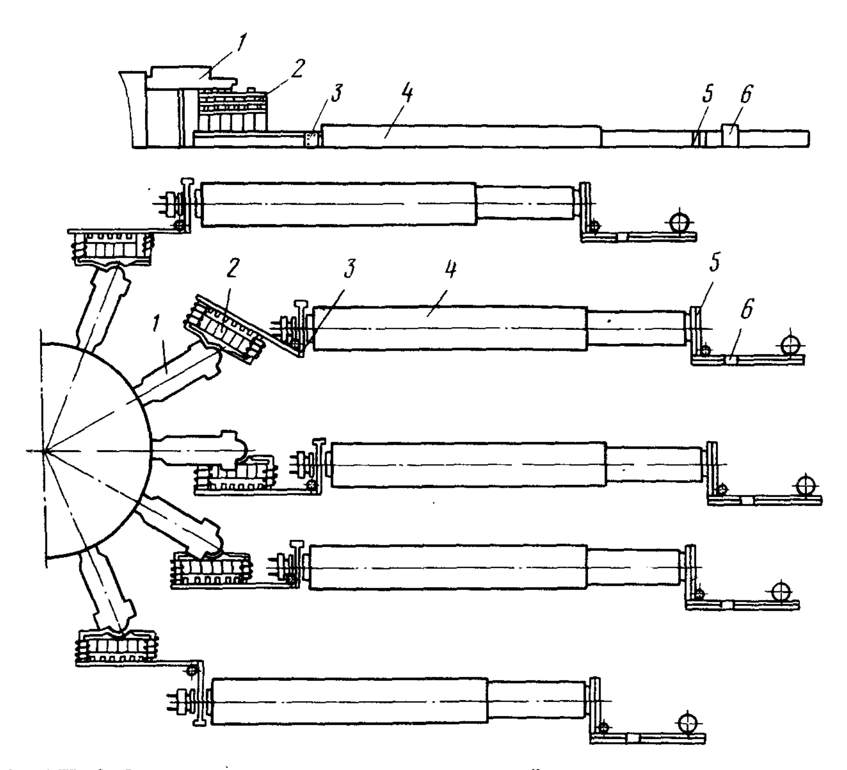


Рис VII.13. Схема установки автоматических линий с секционными машинами у стекловаренной печи:
1 – питатель; *2* – стеклоформующая машина; *3* – переставитель; *4* – печь отжига; *5* – переставитель отожженных стеклоизделий; *6* – контрольный пост

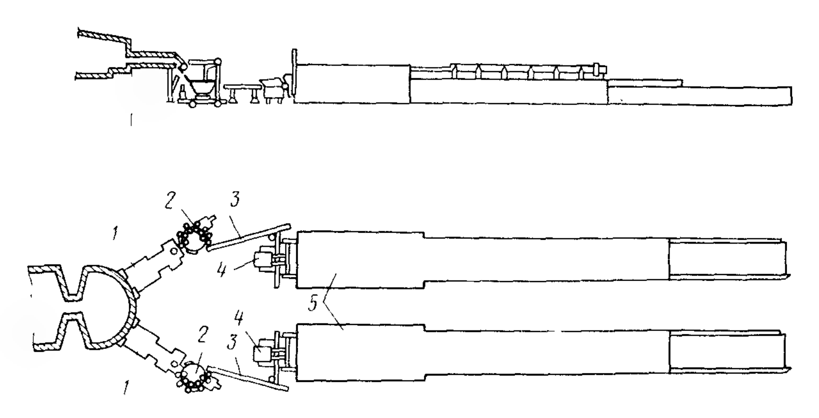


Рис VII.14. Схема установки автоматических линий с карусельными автоматами для выработки консервной стеклотары у стекловаренной печи:
1 – питатель; *2* – стеклоформующая машина; *3* – горячий конвейер; *4* – переставитель; *5* – печь отжига

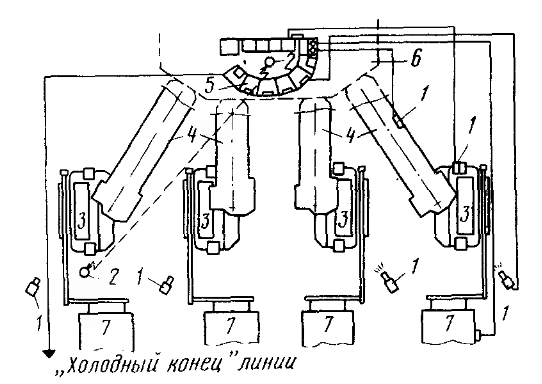


Рис. VII.15. Схема централизованного автоматического контроля и управления линией по производству стеклянной тары:
1 – датчики контроля и управления; *2* – места операторов; *3* – стеклоформующие машины; *4* – питатели; *5* – контрольно-диспетчерский пульт; *6* – стекловаренная печь; *7* – печи отжига

с вакуумно-выдувными роторными автоматами ВВ-7 и ВВ-12 для производства узкогорлой стеклянной тары (рис. VII.12). В состав линии могут входить установки для упрочнения изделий оксидно-металлическими покрытиями;

с секционными выдувными автоматами для производства в двухместных формах узко- и широкогорлой стеклянной тары (рис. VII.13);

с карусельными прессовыдувными автоматами для производства в двухместных формах широкогорлой стеклянной тары (рис. VII.14).

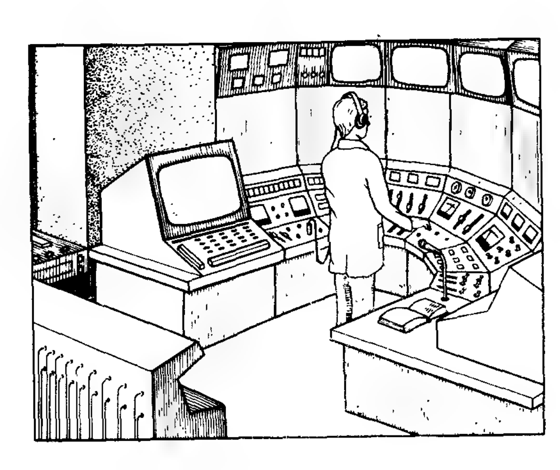


Рис. VII.16. Общий вид контрольно-диспетчерского пульта

Высокое качество и производительность полностью автоматизированных технологических линий, включающих контроль и упаковку готовых изделий, будут достигаться применением высокопроизводительных электрических стекловаренных печей, питателей и печей отжига, автоматически управляемых с помощью ЭВМ. Управление работой всех участков технологических линий будут производиться с централизованного контрольно-диспетчерского пульта. Возможная схема такого контроля и управления и общий вид контрольно-диспетчерского пульта представлены на рис. VII.15 и VII.16.

§ 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

Совершенствование и развитие производства стеклянной тары и технологического оборудования для ее выпуска в основном должно идти по пути снижения стоимости стеклянной тары, повышения ее качества и уменьшения степени загрязнения ею окружающей среды.

Себестоимость стеклянной тары определяется главным образом стоимостью используемых материалов, а также стоимостью труда, вкладываемого в ее производство. Для снижения себестоимости стеклянной тары необходимо соответственно увеличить удельную производительность оборудования (число вырабатываемых изделий на одного человека в единицу времени) и уменьшить массу изделий, т.е. увеличить число изделий, вырабатываемых из того же количества стекломассы.

Уменьшение массы стеклянной тары позволяет сократить удельные затраты на сырьевые материалы и варку стекла, повысить производительность стеклоформующего оборудования и уменьшить транспортные расходы. Однако при значительном уменьшении массы изделий достаточно сложно обеспечить им необходимую механическую прочность. В связи с этим снижение материалоемкости стеклотары осуществляется путем более равномерного распределения стекла в изделиях и упрочнения облегченных стеклоизделий посредством нанесения защитно-упрочняющих покрытий и пластмассовых оболочек.

Условия механизированного формования стеклянной тары

Рассматривая производительность стеклоформующих машин во взаимосвязи с параметрами вырабатываемых стеклоизделий (массой, толщиной стенки, площадью поверхности и т.п.), можно проанализировать процесс формования, а также найти оптимальные параметры: температуру формовых комплектов, режим обдувания и др. Общая формула, связывающая производительность машин с теплоотдачей в процессе формования, имеет вид

$$v = Q/cm\Delta t,$$

где v – скорость работы машины, изделий в минуту; Q – теплоотдача порции стекломассы в минуту; c – теплоемкость стекломассы; m – масса изделий; Δt – разность температур начала и конца формования.

Одним из важнейших средств повышения скорости работы машины является выработка изделий меньшей массы. Уменьшение массы изделий влечет за собой уменьшение толщины их стенок. В этом случае химическая и температурная неоднородность ведет к неравномерному распределению стекла в стенках, что значительно уменьшает прочность и термостойкость изделий.

В ряде случаев на стеклотарных заводах выпуск продукции низкого качества вызван нарушением условий формования и недостаточными сведениями о движении стекломассы при оформлении готового изделия в чистовой форме. Один из методов получения этих сведений предусматривает нанесение на пульку меток. Метки, например, в виде крестиков

выбивают на внутренней поверхности черновой формы, при оформлении пульки они отпечатываются на ней. При чистовом выдувании метки деформируются и дают информацию о характере течения стекломассы и соответствии условий формования требованиям получения качественных изделий. При формовании бутылок характер деформации меток различен в горловой и цилиндрической частях изделий. В связи с этим определены пределы изменения размеров меток, которые обусловливают нормальное течение процесса формования. При выходе за установленные пределы процесс формования может быть отрегулирован путем изменения температуры и конфигурации капли стекломассы, профиля пульки, температуры формовых комплектов, формующего усилия и продолжительности процесса.

Пороки формования стеклянной тары, способы их устранения

В процессе формования стеклянной тары могут возникать различного рода пороки и дефекты, связанные с работой питателя и стеклоформующей машины. Основные причины возникновения пороков формования рассмотрены в гл. V. Здесь же даны примеры, относящиеся к формованию стеклянной тары (табл. VII.3).

Таблица VII.3. **Причины появления некоторых пороков бутылок на стеклоформующих аппаратах и способы их устранения**

Автомат			Способ устранения
IS-6-2, АВ-6	2ЛАМ, АБ-6	R-7 ВВ-7	
Посечки под венчиком горла			
Питатель			
Неравномерная температура стекла			Отрегулировать температуру капли
Машина			
1. Чистовая форма открывается слишком рано (или слишком быстро) и поздно закрывается			Отрегулировать открывание и закрывание чистовой формы
2. Держатели чистовой формы сильно изношены			Проверить размеры держателей чистовой формы
3. Пулька неправильно фиксируется в чистовой форме	Не отцентрирована поворотная головка по чистовой форме (нет соосности)		Проверить правильность размеров горлового кольца и чистовой формы, соосность и привести их в соответствие
4. Холодная чистовая форма			Уменьшить подачу охлаждающего воздуха
5. Резкое открывание и закрывание форм			Отрегулировать открывание и закрывание форм, сделать профилактику формодержателей

Автомат			Способ устранения
IS-6-2, АВ-6	2ЛАМ, АБ-6	R-7 ВВ-7	
Формы			
1. Диаметр горловой части черновой формы больше диаметра горловой части чистовой формы			Проверить диаметры горловых колец и привести их в соответствие
2. Горловые кольца изношены на разъемной линии			Заменить горловые кольца
3. Плохая и нерегулярная смазка форм			Улучшить смазку форм
Продутые "плечики"			
Питатель			
1. Неравномерная температура капли			Отрегулировать температуру капли, установив правильный режим работы питателя
2. Высокая температура стекла			Понизить температуру стекла в питателе
3. Неправильная конфигурация капли			Отрегулировать конфигурацию капли, регулируя ход плунжера или заменяя очко
Машина			
1. Неправильное заполнение стеклом черновой формы			Отрегулировать процесс заполнения стекломассой черновой формы
2. Перегрев черновой формы от неправильной смазки или обдувания форм			Наладить равномерную смазку форм или отрегулировать обдувание
3. Запаздывание окончательного выдувания изделий в чистовой форме			Отрегулировать процесс окончательного выдувания
Формы			
Неправильная конфигурация черновой формы			Заменить черновую форму

Повышение эксплуатационной надежности стеклянной тары

Особенностью стеклоизделий промышленного производства является наличие на их поверхности микротрещин, которые значительно понижают прочностные характеристики изделий.

В связи с тенденцией к снижению материалоемкости стеклянной тары проблема повышения ее эксплуатационной надежности приобретает важное значение и имеет комплексный характер. При этом необходимо улучшить показатели качества стеклотары, повысить производительность стеклоформующих машин и пищевых производств, уменьшить массу изделий и бой стеклянной тары при транспортировке и эксплуатации.

Прочность стеклянной тары в зависимости от условий обращения и эксплуатации значительно меняется: она снижается примерно на 50% по сравнению с прочностью изделий, отправляемых со стеклозавода. В процессе транспортировки и эксплуатации изделия испытывают значительные нагрузки (например, силы, действующие на бутылки в процессе эксплуатации на линиях розлива, составляют 150–500 Н) вследствие трения

и ударов, на поверхности изделий появляются различные дефекты, снижающие реальную их прочность. В связи с этим для повышения эксплуатационной надежности изделий должна быть сохранена или увеличена прочность отформованных изделий химическими и термическими методами.

Защитно-упрочняющие покрытия. Нанесение защитно-упрочняющих покрытий на стеклотарные изделия – наиболее распространенный метод повышения их эксплуатационной надежности. При этом используются неорганические, органические и кремнийорганические покрытия, которые существенно изменяют свойства поверхности стекла и улучшают механические характеристики изделий. В частности, гидрофобность поверхности увеличивается в 3–5 раз, что снижает разупрочняющее действие поверхностно-активных сред и прежде всего влаги воздуха. Одновременно поверхность стеклоизделий защищается от абразивного воздействия различных тел слоем толщиной до 1 мкм (оксидно-металлические и кремнийорганические покрытия), что повышает прочность стекла при статических и динамических нагрузках.

В качестве соединений, дающих оксидно-металлические пленки, могут быть использованы хлориды олова, титана, калия, алюминия, органические соединения металлов (например, тетраизопропилат титана) и др. Наиболее распространенным видом оксидно-металлических покрытий являются оксидно-оловянные, наносимые при воздействии паров $SnCl_4$ на горячую поверхность изделий. Пары $SnCl_4$ можно получить возгонкой или испарением безводного жидкого $SnCl_4$. Поверхность изделий обрабатывают при температуре 450–700°С, т.е. после выхода их из стеклоформующего автомата. В результате пиролиза образуются оксиды металлов, которые непосредственно входят в поверхностный слой изделий и создают в нем напряжения сжатия. Поверхность изделий обрабатывают в специальной камере, которая находится между стеклоформующим автоматом и печью отжига и через которую проходит горячий конвейер. Защитно-упрочняющие покрытия можно наносить, распыляя водные растворы и обрабатывая стеклоизделия парами соответствующих соединений.

Кремнийорганические покрытия наносят на изделия путем распыления водных эмульсий кремнийорганических жидкостей типа ГКЖ-94 при температуре 150–200°С. Наносить покрытия можно в процессе отжига. Поверхностная активность кремнийорганических соединений способствует хорошему прониканию жидкости в микротрещины. Происходящая в дальнейшем полимеризация приводит к цементации микротрещин и образованию твердой пленки, прочно соединенной с поверхностью изделий за счет кремнекислородных (силоксановых) связей.

У изделий, упрочненных поверхностными покрытиями, сопротивление внутреннему давлению возрастает на 6–20%, сопротивление давлению на корпус – на 10–30%, по высоте изделий – до 15%. При различных видах транспортировки потери обработанных изделий уменьшаются в 1,5–2 раза по сравнению с необработанными. Стеклянная тара с защитно-упрочняющими покрытиями сохраняет прочность при длительном хранении на открытом воздухе.

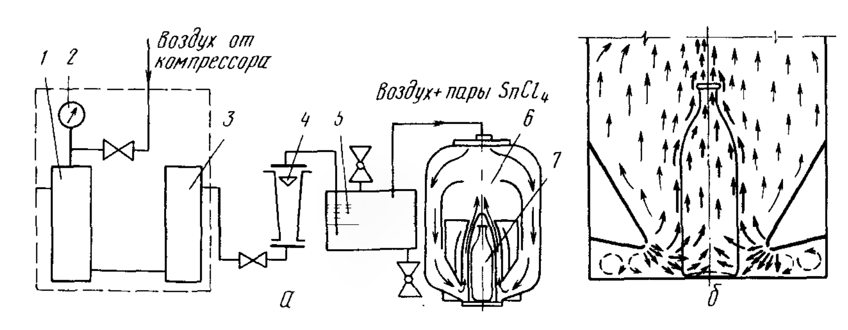


Рис. VII.17. Схемы установки НОМ-3 для нанесения оксидно-металлических покрытий на стеклянную тару (*а*) и циркуляции паровоздушной смеси в рабочей камере (*б*)

Защитно-упрочняющий эффект усиливается при нанесении комбинированных покрытий: на горячем конвейере поточной линии изделия обрабатывают парами $SnCl_4$, а в холодной части печи отжига на них же наносят кремнийорганические или органические покрытия. Комбинированные покрытия позволяют значительно сократить бой при транспортировке и на моечно-разливочных линиях пищевых предприятий. Такая обработка поверхности изделий повышает прочность и эксплуатационную надежность изделий на 15–30%.

Для обработки поверхности стеклотарных изделий парами хлоридов олова или титана созданы специальные установки, например НОМ-3 (рис. VII.17, *а*). Сжатый воздух от компрессора через ресивер подается шлангом во влагомаслоотделитель *1*, а затем в осушитель *3*, наполненный цеолитом Na–A или силикагелем. Осушенный воздух под давлением 0,05–0,3 МПа поступает по трубопроводу в испаритель *5*, наполненный жидким безводным тетрахлоридом олова или титана. Контроль давления воздуха перед очисткой контролируется манометром *2*, а расход осушенного воздуха – ротаметром *4*. Воздух, барботируя через реактив, образует рабочую смесь. Паровоздушная смесь через раструбы с заслонками поступает в установку *6*, через которую проходит горячий конвейер, транспортирующий изделия *7* от стеклоформующей машины к печи отжига. Под воздействием вытяжного вентилятора создается циркуляция паровоздушной смеси (рис. VII.17, *б*), которая омывает изделия и удаляется из камеры в атмосферу через систему вытяжных труб и фильтров. Обязательным условием успешной эксплуатации установки является герметичность ее узлов и соединений.

Ионный обмен. Метод упрочнения ионным обменом основан на обработке изделий из стекла с достаточным содержанием оксида щелочного металла в расплаве соли другого щелочного металла.

При упрочнении в расплаве KNO_3 (температура расплава 400–500°С, время выдержки 1–4 ч) ионы Na^+ радиусом 0,098 нм (в стекле) замещаются ионами K^+ радиусом 0,133 нм (из расплава). При этом структура поверхностного слоя уплотняется на глубину 20–40 мкм за счет большого размера ионов калия. Это приводит к появлению напряжений

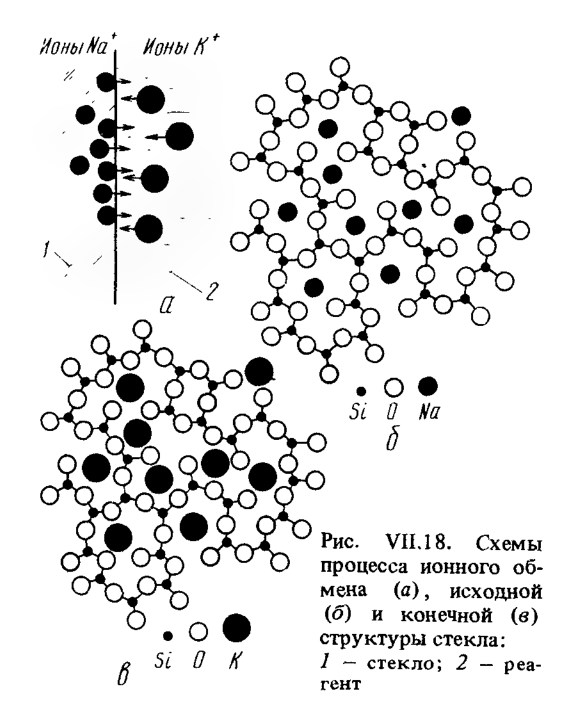


Рис. VII.18. Схемы процесса ионного обмена (*а*), исходной (*б*) и конечной (*в*) структуры стекла:
1 – стекло; *2* – реагент

сжатия и, следовательно, возрастанию механической прочности стекла в 2–4 раза, термостойкости в 1,5–2 раза.

В последнее время процесс ионного обмена получил новое технологическое направление, основанное на использовании твердых ионообменных реагентов, наиболее пригодных в производстве стеклянной тары. По этой технологии на поверхность изделий после формования (на горячем конвейере) аэрозольным способом наносят водные растворы солей калия (KCl, KNO_3, K_2SO_4, K_3PO_4 и др.). После испарения воды на поверхности изделий остается тонкий слой твердой соли. При отжиге изделий происходит процесс диффузионного ионного обмена между поверхностью стекла и твердым реагентом, структура поверхностного слоя уплотняется на глубину 10–17 мкм, что приводит к возрастанию прочности и термостойкости изделий. Слой твердого реагента легко удаляется с поверхности изделий при мойке. Схематически процесс ионообменного упрочнения представлен на рис. VII.18.

Термическая обработка. Отжиг не может устранить такие пороки, как мелкие посечки и трещины по горлу и корпусу изделий, образующиеся при формовании. Чтобы повысить механическую прочность и эксплуатационную надежность стеклянной тары, горло и плечики изделий отапливают, что позволяет частично ликвидировать дефекты и придать изделию лучший внешний вид. Для этой цели обычно применяют горелки, дающие острое бесцветное пламя. Операция термической обработки обычно проводится на горячем конвейере после формования.

Значительно повысить механическую прочность консервной тары можно было бы с помощью закалки. Однако закалка изделий сложной формы, особенно горловой части, технологически затруднена. Кроме того, условия эксплуатации тарных изделий на пищевых предприятиях способствуют появлению дефектов, резко снижающих эффективность закалки. Саморазрушение закаленных изделий с содержимым ведет к значительным потерям пищевых продуктов, поэтому закалка тары не получила распространения.

Для упрочнения стеклянной тары, в частности банок, эффективен метод термической полузакалки, который создает в изделиях сравнительно небольшие, равномерно распределенные напряжения. Технологический режим полузакалки изделий в значительной степени зависит от их толщины. Для стеклоизделий толщиной 3–5 мм может быть рекомендован следующий технологический режим:

Время, мин	
нагревания до температуры примерно 700° С	2–3
охлаждения при температуре воздуха 250–300° С	0,5–1
термостатирования при температуре 300–350° С	30–40

Полузакаленные изделия имеют повышенную механическую прочность и термостойкость, их разрушение при повреждении не имеет цепного характера, т.е. изделие не разлетается на мелкие осколки.

За рубежом применяют метод поверхностной закалки тары непосредственно в печах отжига. В этом случае увеличивается время пребывания изделий в зоне выравнивания начальной температуры отжига. Для натрий-кальций-силикатных стекол эта температура составляет около 530°С. В следующей секции печи отжига температура резко снижается до 450°С, а затем продолжается отжиг изделий в соответствии с температурной кривой. Метод позволяет закаливать поверхностный микрослой изделий, остальная масса стекла при этом будет отожженной.

Дополнительная обработка стеклянной тары

К операциям дополнительной обработки стеклянной тары относятся:
шлифование, полирование и матирование поверхности (см. гл. VIII);
нанесение несмываемых этикеток с использованием силикатных красок (см. гл. VIII);
нанесение защитных полимерных покрытий.

Операции шлифования и полирования химического и механического матирования характерны для некоторых видов парфюмерной стеклотары.

Некоторые виды стеклотарных изделий, особенно тонкостенных, можно защищать покрытиями из пластиков. Покрытия можно наносить путем распыления композиций или окунания изделий в ванну с полимерным веществом. В качестве материала для таких покрытий можно применять смеси различных пластмасс на основе поливинилхлорида. Возможно применение двухслойных покрытий: внутренний слой должен

быть мягким для предотвращения разлетания осколков, механическая прочность наружного слоя должна быть достаточной, чтобы предохранить стекло от повреждений.

§ 7. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА, УПАКОВКА И ТРАНСПОРТИРОВКА СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

Контроль качества стеклянной тары

Стеклотара после выработки имеет различные пороки. В отечественной промышленности в основном применяется визуальная система контроля качества продукции.

Стеклянную тару после выхода из печи отжига осматривает сортировщик, который отбирает бой и брак. Основанием для сортировки стеклянной тары являются государственные стандарты и технические условия. Для удобства сортировки и наглядности подбирают эталоны отдельных видов пороков.

Всю бракованную стеклянную тару обращают в бой. Годную стеклянную тару передают по конвейеру печи отжига для калибровки по овалу венчика горла. Венчик горла промеряют калибрами. Кроме промеров по овалу венчика горла периодически проверяют с помощью высотного калибра высоту изделия и его перекос.

Кроме сортировки и калибровки стеклянную тару испытывают на испытательной станции или в цеховой лаборатории. При испытании проверяют:

термостойкость в пределах перепада температур, установленного государственным стандартом;

сопротивление внутреннему давлению (с помощью гидравлического пресса);

механическую прочность (раздавливание на рычажном прессе);

распределение стекла в изделии (путем измерения специальными щупами толщины стенок и дна);

качество отжига стеклянной тары (с помощью полярископа или поляриметра);

массу;

полную вместимость по массе или объему залитой воды.

Кроме того, проверяют предельные диаметры горла, диаметр корпуса, высоту изделий и наличие перекоса, радиусы закруглений венчика горла и корпуса, общий сдвиг венчика горла относительно корпуса.

ОТК и испытательная станция проверяют работу сортировщиков и калибровщиков, состояние калибров у калибровщиков, качество изделий, выпущенных машиной после полной смены форм, проводят контрольную разбраковку изделий с конвейера печи отжига.

Конструкции применяемых автоматических контрольных устройств позволяют контролировать основные размеры изделий: максимальный и минимальный внутренний и внешний диаметры горла, высоту изделия и его горловой части, толщину стенок и дна и др. Кроме того, автоматические контрольные устройства позволяют обнаружить основные пороки

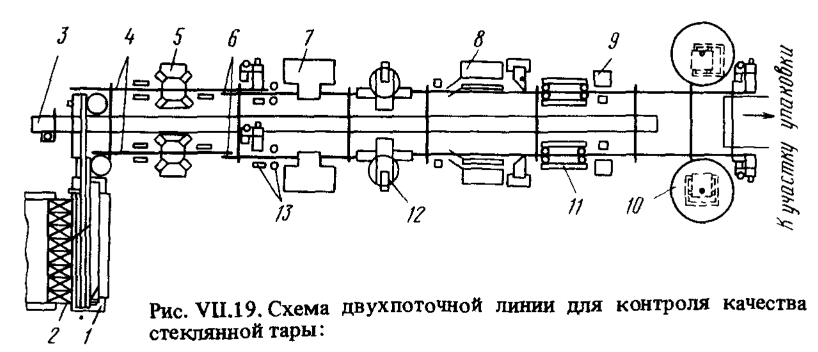


Рис. VII.19. Схема двухпоточной линии для контроля качества стеклянной тары:

1 – установщик изделий в линию; *2* – вибрационный передающий стол; *3* – конвейер для отбракованных изделий; *4* – конвейер для точного контроля; *5* – устройство для предварительного отбора изделий; *6* – конвейер контроля качества изделий с изменяемыми параметрами; *7* – устройство для калибровки горла изделия; *8* – устройство для обнаружения посечек; *9* – участок отбора изделий для выборочного контроля качества; *10* – поворотный стол; *11* – позиция визуального контроля; *12* – устройство, воспроизводящее ударные нагрузки; *13* – устройство для контроля движения изделий в потоке

изделий: горизонтальные и вертикальные посечки, трещины в горле, корпусе и дне, овальность, недопрессовку горла и т.д.

Контрольные установки состоят в основном из контролирующих систем и устройств для транспортировки изделий. Их выполняют в виде прямых конвейерных линий (рис. VII.19) или карусельных устройств, на которых последовательно смонтированы контролирующие приборы. В большинстве конструкций управление процессом контроля осуществляется электронными приборами, причем в ряде случаев применяются запоминающие устройства, дающие сигнал на механизм, выбрасывающий бракованные изделия из потока после прохождения ими всех контролирующих устройств.

Упаковка и транспортировка стеклянной тары

Одной из важнейших экономических проблем стекольной промышленности, в том числе и стеклотарного производства, являются упаковка, транспортировка и хранение готовой продукции. В связи с этим разрабатываются новые способы и устройства для автоматической и полуавтоматической упаковки, механизированной транспортировки и рационального хранения упакованной продукции. Целью данных разработок является максимально возможное предохранение стеклянной тары от загрязнения и повреждения.

В настоящее время применяют следующие способы упаковки стеклянной тары.

Укладка изделий в штабеля, упаковка в кули и мешки. Способы требуют значительных затрат ручного труда, связаны с простоями и нерациональным использованием железнодорожного и автомобильного транспорта, не обеспечивают сохранности изделий. Бой бутылок и банок при упаковке такими способами и транспортировке значительно превышает

установленный норматив. Образуются сколы на венчике горла и потертость на корпусе (особенно при недостаточном количестве перестилочного материала). Данные способы упаковки и транспортировки стеклянной тары заменяют более прогрессивными.

Пакетирование с использованием проволоки. Бутылки укладывают горизонтально в кассету по 20–25 шт. в зависимости от их размера и вида. Порядок укладки предусматривает чередование положения изделий: четные ряды горлом влево, нечетные горлом вправо. Два ряда бутылок – пакет – плотно обвязывают двумя параллельными рядами проволоки. Пакеты укладывают в штабеля различных размеров, которые образуют достаточно жесткую конструкцию. Пакеты, уложенные на поддоны, без дополнительного крепления можно транспортировать авто- или электропогрузчиками. Для обвязывания следует применять проволоку, не подвергающуюся коррозии (например, оцинкованную), не слишком мягкую (иначе пакеты теряют жесткость при хранении), но и не очень жесткую (очень жесткая проволока ломается при закручивании концов обвязки).

Упаковка и транспортировка изделий в контейнерах. Деревянные или металлические контейнеры заполняют изделиями непосредственно в цехе у холодного конца печи отжига или на складе с помощью средств механизации. Заполненный контейнер вилочным автопогрузчиком грузят на железнодорожную платформу или в автомобиль. Контейнеры подлежат возврату на завод. Несмотря на значительные затраты на заполнение контейнеров и их возврат, такой способ упаковки и транспортировки позволяет резко сократить время простоя вагонов и автотранспорта, упорядочить доставку стеклянной тары на линии расфасовки. Контейнеры позволяют механизировать внутризаводские погрузочно-разгрузочные работы, упорядочить складское хозяйство.

Компактная упаковка в пакеты-поддоны. В большинстве случаев изделия (бутылки, банки) устанавливают плотно друг к другу, между горизонтальными рядами помещают картонные или пластмассовые прокладки. Высота укладки изделий на один поддон составляет 1,1–2 м. Высота укладки, а также размеры поддонов определяются характером транспортирующих средств, размерами складских помещений, видом отгрузки и т.д. Наиболее распространены поддоны размерами 1,2×0,8 м. На верхний ряд изделий кладут жесткую крышку, которая с помощью стяжных устройств плотно прижимает изделия к поддону, образуя пакет (рис. VII.20). Пакеты-поддоны с помощью электро- или автопогрузчиков вывозят на склады готовой продукции или грузят в транспортирующие средства.

Для сборки пакетов на поддонах применяют различные устройства и приспособления (рис. VII.21).

На ряде заводов используют усовершенствованный способ пакетирования изделий на поддонах: после установки верхней крышки на пакет надевают рукав из термоусадочной полиэтиленовой пленки. Нижнюю часть рукава по всему периметру жестко крепят к деревянному поддону, а верхнюю часть обрезают с небольшим припуском, чтобы полностью закрыть изделия сверху. Образованный таким образом пакет помещают

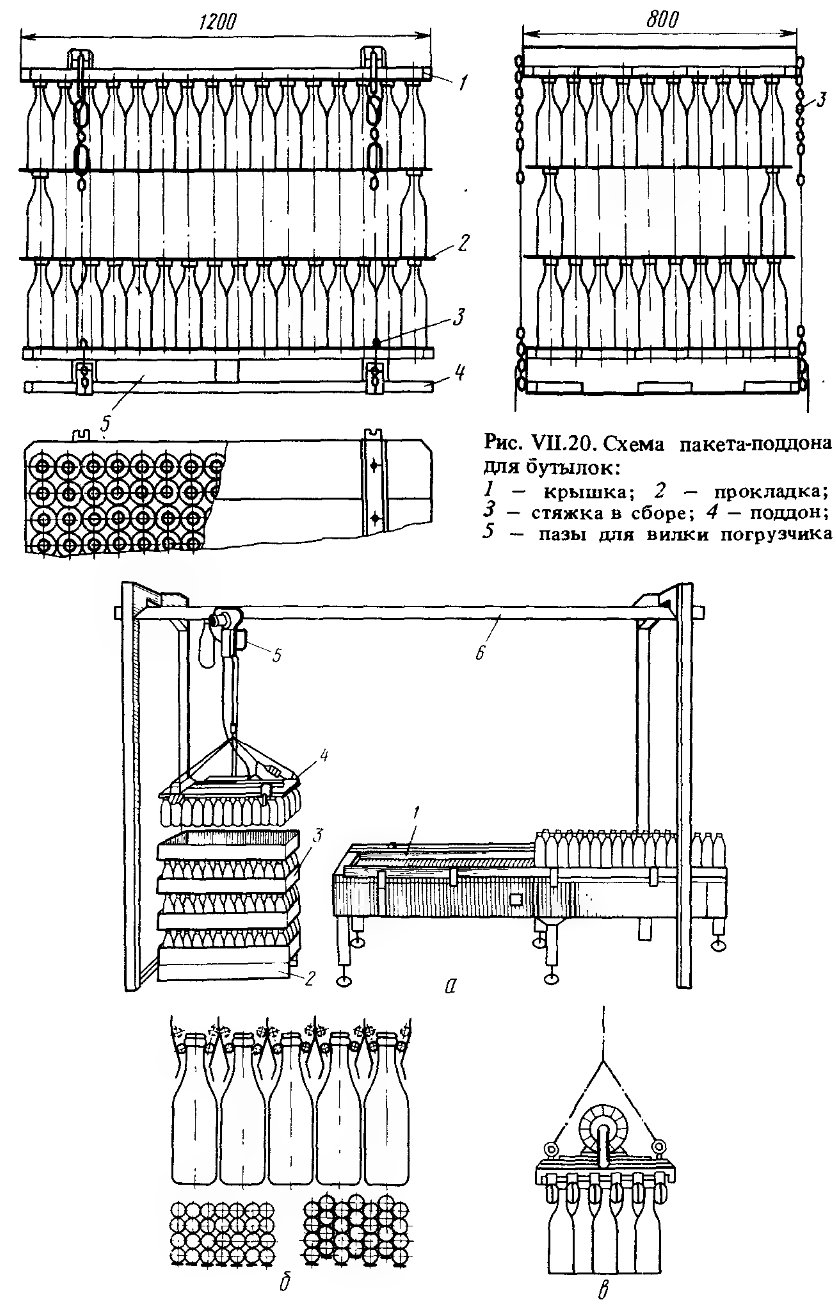


Рис. VII.20. Схема пакета-поддона для бутылок:
1 – крышка; 2 – прокладка; 3 – стяжка в сборе; 4 – поддон; 5 – пазы для вилки погрузчика

Рис. VII.21. Установка для сборки и разборки пакетов-поддонов (*а*), устройства для захвата бутылок колодочными зажимами (*б*) и надувными рукавами (*в*):
1 – многорядный конвейер; 2 – поддон; 3 – прокладка или ящик; 4 – каретка с зажимным устройством и захватами; 5 – электроталь; 6 – рама

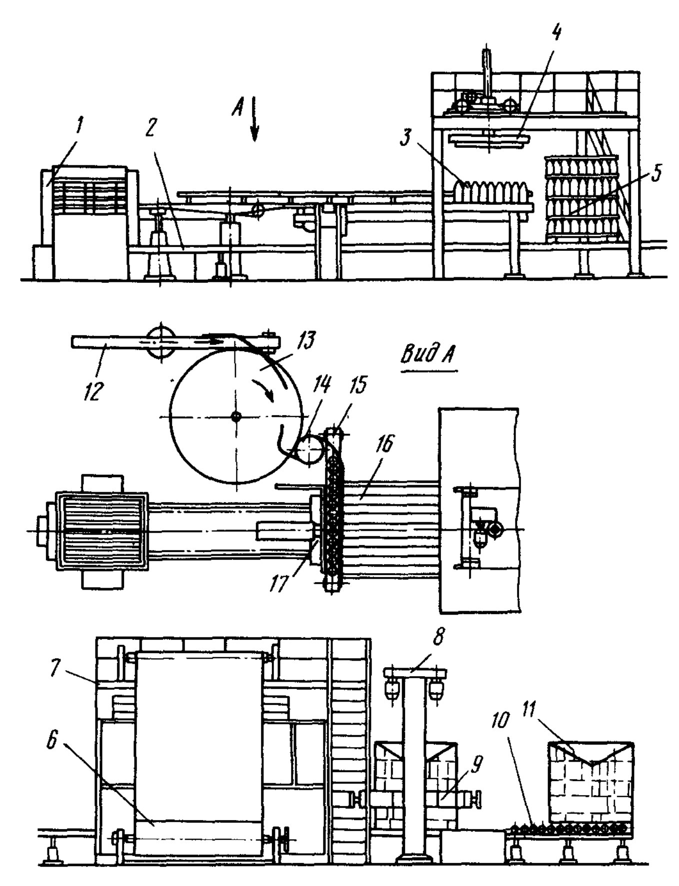


Рис. VII.22. Линия для упаковки изделий в термоусадочную пленку

на 3 мин в печь при температуре 200°C. Полиэтилен при этом усаживается, образуя жесткий пакет: его можно наклонять на 45° без разрушения. Упакованные таким образом стеклоизделия можно хранить на открытых площадках. При этом изделия не подвергаются действию атмосферных осадков и пыли.

Для упаковки изделий в пакеты из термоусадочной пленки применяют различные устройства и поточные линии (рис. VII.22). Линия работает следующим образом. Поддоны подаются механизмом *1* и после передачи на конвейер *2* транспортируются к устройству формирования пакета. Сгруппированные в несколько рядов изделия *3* укладчиком с грейферной головкой *4* передаются для формирования пакета *5* с одновременной подачей прокладок. Сформированный пакет по конвейеру *2* поступает в установку зачехления *7*. Чехлы из термоусадочной полиэтиленовой пленки формируются из разматывающегося рулона *6*. Зачехленный пакет поступает в установкv термической усадки пленки *8*, где в качестве

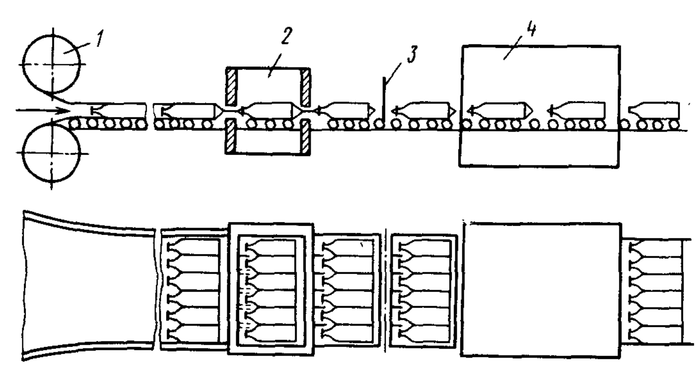


Рис. VII.23. Однорядная упаковка бутылок в термоусадочную пленку:
1 – рулон пленки; *2* – камера сварки; *3* – ножевое устройство; *4* – усадочная камера

нагревателя может использоваться рамка *9* с лампами инфракрасного излучения. Двигаясь по вертикали, рамка обеспечивает разогрев и усадку пленки по высоте пакета. Далее готовый пакет-поддон *11*, обтянутый пленкой, подается с помощью роликового конвейера *10* к месту погрузки в транспортные средства.

Группировка изделий для формирования пакета происходит так: с однорядного конвейера *12* через стол-накопитель *13* и поворотный диск *14* изделия поступают на поперечный конвейер *15* и подаются в группирующее устройство *16* толкателем *17*. Изделия можно упаковывать в пленку в отдельные блоки. Схема устройства для упаковки горизонтально расположенных бутылок показана на рис. VII.23. Возможно и вертикальное положение бутылок. Полученные блоки можно укладывать на поддон и скреплять, образуя укрупненную транспортную единицу. Обычно устройства для пакетирования комплектуют с устройствами для контроля качества изделий.

Упаковка в картонные коробки. В большинстве случаев внутри коробки имеются ячейки из картона. Помещенные в ячейки изделия надежно предохраняются от взаимных ударов. Применение стандартных картонных коробок позволяет механизировать и автоматизировать упаковку изделий.

Применение многооборотных ящиков. Вместо деревянных ящиков с ячейками для каждого изделия в последнее время используют пластмассовые ящики.

Автоматизированные линии контроля качества изделий (см. рис. VII.19) в зависимости от вида вырабатываемых изделий комплектуются автоматизированными устройствами для упаковки. Таким образом, создаются предпосылки для создания полностью автоматизированных линий (рис. VII.24) – основы завода-автомата по производству стеклянной тары.

Условия хранения и транспортировки стеклянной тары. На всех предприятиях большое внимание следует уделять хранению готовой продукции. Известно, что пыль стеклянной шихты и ее компонентов, особенно

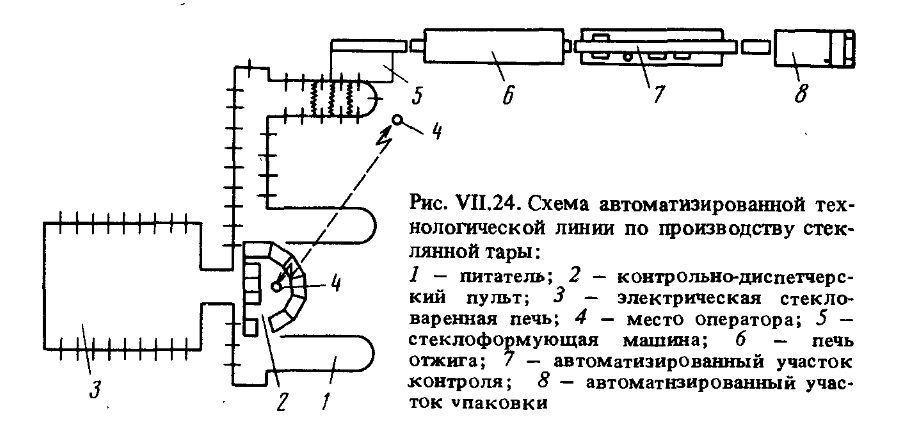


Рис. VII.24. Схема автоматизированной технологической линии по производству стеклянной тары:

1 – питатель; *2* – контрольно-диспетчерский пульт; *3* – электрическая стекловаренная печь; *4* – место оператора; *5* – стеклоформующая машина; *6* – печь отжига; *7* – автоматизированный участок контроля; *8* – автоматизированный участок упаковки

щелочесодержащих, оседая на стеклоизделиях, вызывает эрозию и коррозию их поверхности. Атмосферные осадки и резкие изменения температуры и погодных условий усугубляют процессы разрушения поверхности изделий, ухудшая внешний вид продукции. Поэтому для хранения стеклоизделий обычно строят стационарные крытые склады, где предусмотрена возможность широкого применения погрузочно-разгрузочных машин, механизмов и устройств различных видов. При длительном хранении продукции штабеля должны быть защищены от пыли брезентом, полиэтиленовой пленкой или другими средствами.

Транспортировать все виды стеклянной тары автомобильным транспортом можно только в контейнерах, пакетах-поддонах или ящиках. В вагонах, контейнерах и на баржах по согласованию с потребителем разрешается укладывать тару штабелями с перестилкой каждого ряда мягким упаковочным материалом.

Каждая партия стеклянной тары должна сопровождаться документом, удостоверяющим качество и соответствие изделий требованиям государственного стандарта и содержащим наимеиование предприятия-поставщика, его адрес, наименование изделий, дату выпуска партий, номер действующего стандарта, число мест.

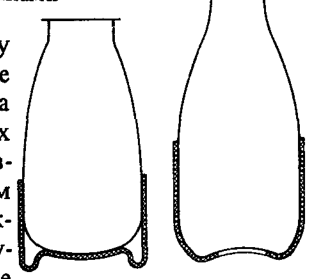
§ 8. НОВЫЕ ВИДЫ СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

Создание новых видов стеклянной тары обусловлено необходимостью улучшения ее внешнего вида и совершенствования ее функциональных достоинств.

При разработке новых видов стеклянной тары учитывают художественно-эстетические принципы, свойства упаковываемого продукта, традиционные цвет и элементы формы тары для различных пищевых жидкостей, унифицированные основные размеры, типы венчиков горла, технологию изготовления и использования, условия транспортировки.

Разработка новых видов стеклянной тары, в частности бутылок для пищевых жидкостей, основывается на данных заказчика о вместимости, назначении, типе укупорки и т.п.

Рис. VII.25. Стеклянная тара с полимерными оболочками



В соответствии с этими данными художнику выдается техническое задание на создание бутылок оригинальной формы. После выбора лучшей формы бутылок рассчитывается их полная вместимость и путем изменения размеров доводится до требуемой. При этом обязательным является сотрудничество художника, конструктора и технолога. Макеты бутылок обсуждают на художественном совете и представляют на утверждение заказчику. Затем разрабатывают технические условия на опытные партии бутылок, которые передают стеклотарным заводам, изготовляющим чертежи формокомплектов и формы для новых бутылок. Опытные партии бутылок оформляют специальными этикетками. После получения положительных результатов эксплуатации бутылок на пищевых предприятиях и в торговле разрабатывают технические условия на промышленные партии бутылок, проводят их промышленное внедрение. Таким образом реализуется непрерывный процесс художественного конструирования стеклянной тары.

Нужно отметить, что особенно много новых видов стеклотары разрабатывают для парфюмерных изделий, которая является тарой одноразового пользования.

В последнее время в некоторых странах большое внимание уделяется созданию облегченной тары, наружная поверхность которой защищена пластмассовым покрытием. Такие покрытия предохраняют поверхность стекла от мелких царапин, выбоин и трещин, которые ведут обычно к разрушению изделий, и выполняют роль буферных слоев, защищающих изделия от локальных механических повреждений, особенно при динамических нагрузках (ударах).

Для защитных покрытий стеклотары используют полистиролы, сополимеры полиэтилена, эпоксидные смолы, полиуретаны, нейлоны и т.п. Толщина покрытия от 75 до 200 мкм. При такой толщине слоя эпоксидные смолы и полиуретаны прозрачны, пенопласты непрозрачны, другие покрытия являются прозрачными в той или иной мере.

С применением покрытий толщиной 0,8–1,5 мм появляется возможность создания новых видов стеклянной тары. Такие покрытия наносят на всю поверхность стеклянной тары или ее часть.

На рис. VII.25 представлены новые виды стеклянных бутылок с частичным пластмассовым покрытием, которое позволяет существенно уменьшить массу изделий, повысить термостойкость, сохранить механическую прочность. При этом стеклоизделия можно формовать по технологии тонкостенных изделий типа колб для электроламп и термосов.

Комбинирование стекла и пластмасс рационально для стеклотары одноразового пользования. При освоении такого производства и планировании общего производства стеклянной тары необходимо придерживаться оптимального соотношения выпуска изделий одно- и многоразового пользования.

Глава VIII. ТЕХНОЛОГИЯ СОРТОВОЙ ПОСУДЫ

В быту мы встречаемся с самыми разнообразными видами изделий из стекла. Это стеклянная посуда и декоративные изделия: декоративные вазы, вазы для цветов, письменные и туалетные приборы, пепельницы и т.д. Изделия из стекла изготавливают различных цветов и оттенков, с разнообразной художественной отделкой.

Посуда и декоративные изделия должны отличаться высоким качеством, разнообразием ассортимента, быть изящными и простыми по форме. Характер декорирования должен быть органически связан с их формой и назначением.

Основными требованиями к посуде являются термостойкость, химическая устойчивость и хороший внешний вид (блеск, прозрачность, чистота цвета). Высокой термостойкостью должны обладать чайные стаканы. Изделия не должны иметь пороков, заметно портящих внешний вид: камней, свилей, пузырей. Рисунок на изделиях должен быть четким и правильным, края и грани не должны быть режущими.

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТЕКОЛ И СТЕКЛОИЗДЕЛИЙ

В производстве сортовых изделий применяется несколько видов стекол, классификация которых в соответствии с ГОСТ 24315–80 "Посуда и декоративные изделия из стекла. Термины и определения видов стекол, способов выработки и декорирования" приведены в табл. VIII.1.

Изделия из сортового стекла в зависимости от размеров и вместимости подразделяют на четыре группы (табл. VIII.2).

Группа изделий определяется по наибольшему параметру в соответствии с функциональным назначением.

Классификация изделий производится по назначению, видам стекол, способам выработки, сложности конфигурации, способам декорирования. В соответствии с нормативно-технической документацией изделия **по назначению** делят на посуду и декоративные изделия из стекла.

К стеклянной посуде относят изделия, используемые в быту, на предприятиях общественного питания для приготовления пищи, напитков и сервировки стола.

По видам стекол изделия подразделяют в соответствии с табл. VIII.1.

По способам выработки различают изделия ручного и механизированного выдувания, прессованные, прессовыдувные, изделия сочлененные (многостадийной выработки), центрифугированной выработки, моллированные, из накладного стекла.

По сложности конфигурации бывают изделия, имеющие сосуд простой и сложной конфигурации; изделия на воронкообразной, простой и фигурной ножке; изделия с утолщенным дном, изделия на поддоне; рюмочные изделия на массивной ножке.

По способам декорирования изделия подразделяют на декорированные в горячем и холодном состоянии. Декорированием в горячем состоянии получают изделия свободного выдувания (гутные), с орнаментом, оптическим эффектом, рельефами, газовыми и инородными включениями,

Таблица VIII.1. **Виды стекол**

Термин	Определение
Натрий-кальций-силикатное стекло	Бесцветное стекло, содержащее в основном оксиды SiO_2, Na_2O, K_2O, CaO, MgO и дополнительные компоненты
Специальное бытовое стекло	Натрий-кальций-силикатное стекло, содержащее добавки специальных оксидов и обладающее заданными физико-химическими свойствами
Хрустальное стекло	Бесцветное стекло, содержащее в основном SiO_2, а количество оксидов PbO, BaO, K_2O, ZnO в отдельности или в сочетании не менее 10%, имеющее показатель преломления не менее 1,520 и плотность не менее 2400 кг/м^3
Маслосвинцовый хрусталь	Хрустальное стекло, содержащее от 18 до 24% PbO, имеющее показатель преломления не менее 1,530 и плотность не менее 2700 кг/м^3
Свинцовый хрусталь	Хрустальное стекло, содержащее от 24 до 30% PbO, имеющее показатель преломления не менее 1,545 и плотность не менее 2900 кг/м^3
Бариевый хрусталь	Хрустальное стекло, содержащее не менее 20% BaO и оксиды щелочных металлов, имеющее показатель преломления не менее 1,530 и плотность не менее 2700 кг/м^3
Цветное стекло	Прозрачное или непрозрачное стекло, способное пропускать волны определенной длины или диффузно рассеивать свет и содержащее красители, глушители или их смеси

Таблица VIII.2. **Параметры и размеры изделий**

Группа изделий	Высота, диаметр или длина, мм	Полная вместимость, см^3
Мелкие	До 140 включительно	До 100 включительно
Средние	Более 150 до 240	Более 105 до 500
Крупные	Более 250 до 340	Более 510 до 1500
Особо крупные	Более 350	Более 1500

изделия "кракле" и т.п. Изделия из стекла, декорированные в холодном состоянии, делят на изделия с плоской и алмазной гранью, матовым шлифованием, гравированные, с пескоструйной обработкой, декорированные травлением, с поверхностными покрытиями (роспись, шелкотрафаретная печать, распыление, переводные картинки).

§ 2. ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОЙ ПОСУДЫ

Сортовую посуду производят в основном по следующей технологической схеме. Сырье со склада поступает в составной цех, где оно подвергается сушке, дроблению, просеву и т.д. Для обеспечения высокого качества бесцветных натрий-кальций-силикатных и хрустальных стекол и достаточной чистоты поступающего сырья проводят обогащение сырья, главным образом песка. Цель обогащения – снизить количество

оксидов железа, придающих стеклу нежелательную окраску. К операциям обогащения песка, проводимым на заводах сортовой посуды, относятся промывка на сотрясательном столе и электромагнитная сепарация.

Обработанные сырьевые материалы направляют в бункера для хранения. Далее их отвешивают по заданному рецепту для составления шихты. Как правило, добавляют малые количества материалов, обеспечивающих высокое качество сортовых стекол: осветлителей и обесцвечивателей, красителей.

Для смешивания шихты применяют различные типы смесителей. Так, шихту для цветных стекол удобнее смешивать в контейнерных смесителях, а для бесцветных стекол – в тарельчатых.

Полученную шихту подают к ванной печи и загружают в нее загрузчиком. Обратный бой из цеха подают к засыпочному карману печи и загружают вместе с шихтой.

Варят стекло в горшковых и ванных печах. После варки стекла изделия вырабатывают тремя способами: ручным, полумеханизированным и механизированным. Ручным способом вырабатывают обычно выдувные изделий сложной конфигурации и больших размеров. Основной инструмент – стеклодувная трубка и различные приспособления. Полумеханизированным способом вырабатывают в основном изделия центробежного формования и прессованные. При этом осуществляют ручной набор стекломассы, подачу ее в форму и ручную выемку изделия из формы.

Механизированным способом вырабатывают как прессованные, так и выдувные изделия массового ассортимента: стаканы, изделия на ножке, пепельницы, солонки, розетки для варенья и т.п. При механизированном изготовлении изделий на ножке сочетаются операции прессования и выдувания. Края и поверхности прессованных изделий подвергают термической обработке обычно с помощью газовых горелок.

Для выдувных высокохудожественных изделий возможны различные способы декорирования в горячем состоянии.

После термической обработки и горячего декорирования или без них изделия поступают на отжиг, затем у выдувных изделий отделяют колпачок, производят обработку края. Край тонкостенных изделий массового производства предварительно шлифуют и оплавляют. Край толстостенных изделий шлифуют и полируют механическим способом.

После предварительной обработки сортовые изделия декорируют, шлифуют, гравируют, наносят поверхностные покрытия красками, люстрами, золотом. Способ декорирования зависит от вида стекла: изделия из хрусталя и накладного стекла декорируют обычно алмазной гранью, а изделия из бесцветного натрий-кальций-силикатного стекла – поверхностными покрытиями, закрепляемыми обжигом. Шлифованные рисунки подвергают химическому (изделия из хрусталя) и механическому (изделия из бесцветных и цветных натрий-кальций-силикатных стекол) полированию. Существуют и другие виды декоративной обработки: химический, диффузионный, фотопечать и т.д.

Выдувные изделия сортовой посуды в связи с многообразием видов обработки контролируют обычно дважды. После отделения колпачка

проверяют качество стекла и выработки, а после декорирования – качество обработки. Прессованные изделия, подвергающиеся дополнительной декоративной обработке, также контролируются дважды. Выдувные чайные стаканы дополнительно контролируют на термостойкость, закаленные изделия – на прочность и термостойкость. Отсортированные в соответствии с нормативно-технической документацией изделия маркируют, упаковывают и отправляют на склад готовой продукции.

Контроль качества готовых изделий должен сочетаться с контролем всего технологического цикла, так как высокое качество изделий обеспечивается стабильностью технологических процессов и операций, соответствием их установленным параметрам.

§ 3. ПОЛУЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТЕКОЛ

Стекло, применяемое для производства сортовой посуды, должно обладать высоким показателем светопреломления и максимальным светопропусканием в видимой части спектра, хорошими варочными свойствами и малой склонностью к кристаллизации, достаточной термостойкостью и химической устойчивостью, хорошо поддаваться механической и химической обработке. Высокое качество стекол достигается введением в их состав соответствующих оксидов, режимами варки, обесцвечивания, окрашивания и глушения. Ниже будут рассмотрены составы и условия получения сортовых стекол трех основных групп: бесцветных натрий-кальций-силикатных, хрустальных цветных и глушеных.

Таблица VIII.3. Рекомендуемые составы натрий-кальций-силикатных стекол

Способ выработки	Содержание, % по массе								
	SiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Al_2O_3	BaO	B_2O_3	$R_2O_3 + SO_3$
Ручной	75	6,5	2	2,5	13,5	–	–	–	0,5
Механизированный на автоматах АПП-12	73	7	2,5	2	13	2	–	–	0,5
на линиях фирмы "Тунгорам" (Венгрия)	71,4	6,8	3,4	2,8	14,6	–	–	–	1
на линиях фирмы "Интергласс" (Бельгия)	70,7	6,5	3	5,4	11,6	1,6	3	1	0,2
закаленной посуды	71	9,22	2,76	0,65	13,9	1,65	0,52	–	0,35
Ручной (основа для цветных стекол)	74–75	CaO + MgO = 8		5	11	–	–	1–2	–

Бесцветные натрий-кальций-силикатные стекла. Группа обесцвеченных стекол является достаточно широкой и применяется при ручном и механизированном производстве изделий различного ассортимента. Рекомендуемые составы стекол приведены в табл. VIII.3.

Характерной и наиболее часто встречающейся примесью в обесцвеченных стеклах являются оксиды железа, попадающие в стекло из сырьевых материалов, главным образом песка, мела, доломита, из огнеупоров печи и стеклобоя. Количество оксидов железа в стекле часто достигает 0,08–0,12% при допустимом количестве 0,04%, при этом стекла приобретают нежелательные желто-зеленые оттенки. Эти оттенки устраняют путем обесцвечивания.

В основном на промышленных предприятиях используют в качестве химических обесцвечивателей 0,04–0,12 As_2O_3 или 0,04–0,12% CeO_2, в качестве физических обесцвечивателей – в основном 0,0005–0,014% Se в сочетании с оксидом кобальта. Такой широкий интервал концентраций селена связан с нестабильностью газовой среды при варке и содержанием оксидов железа в стекле. Оптимальное количество Se при обесцвечивании 0,002–0,004% при содержании 0,04–0,06% Fe_2O_3. Концентрация CoO 0,00008–0,0002% в зависимости от содержания оксидов железа.

Основные технологические параметры варки и выработки бесцветных натрий-кальций-силикатных стекол зависят от способа выработки.

	Ручная выработка	Механизированная выработка
Соотношение шихты и боя, %	(55–50)/(45–50)	(70–75)/(30–25)
Температура, °С		
варки	1460–1480	1470–1490
выработки	1220–1250	1170–1275

Значительное различие температур выработки связано с применением автоматов с капельным (1170–1180°С) и с вакуумным (1260–1275°С) питанием. Учитывая невысокий коэффициент использования стекломассы при механизированном производстве выдувных изделий, иногда целесообразно увеличить количество вводимого боя до 60–70%. Повышенный ввод стеклобоя требует корректировки ввода щелочесодержащих материалов, температуры варки, предварительной подготовки боя.

Хрустальные стекла. Составы хрустальных стекол разнообразны (табл. VIII.4), вводимые оксиды должны обеспечить комплекс физико-химических и технологических свойств.

Одним из важнейших показателей качества хрусталей является отсутствие видимых цветовых оттенков. Этот показатель определяется качеством сырья, выбором обесцвечивателей и окислительными условиями варки. Обесцвечивание хрустальных свинецсодержащих стекол проходит более стабильно, чем натрий-кальций-силикатных, так как в качестве физического обесцвечивателя в основном применяют соединения никеля (оксид никеля или нитрат никеля). Ион никеля присутствует в стекле в одной степени окисления и на его цветовые оттенки не влияет режим варки. Оксид никеля имеет высокую красящую способность и вводится в количестве 0,0003–0,0006%.

Таблица VIII.4. **Промышленные составы свинцовых хрусталей**

Завод, страна	Содержание компонента, %							
	SiO_2	PbO	B_2O_3	ZnO	K_2O	Na_2O	CaO	R_2O_3 + SO_3
Гусевский хрустальный	57,5	24	1	1	16	–	–	0,5
Ленинградский художественного стекла	58	24	1	1	15	–	1	–
Киевский художественного стекла	58	24	–	1	15	–	2	–
"Красный Май"	61,5	18	1,5	1	16	–	0,5	1
Имени Свердлова Владимирской области	61,5	18	2	1	16,5	–	–	1
Имени Володарского Владимирской области	66	12	2	1,5	16	–	2	0,5–CeO_2
Саратовский технического стекла (линия по производству изделий на ножке)	67,95	12	2	1	11,4	1,65	4	–
ФРГ*	71,8	6	0,71	–	11,03	5,55	4,36	0,54
	56,67	24,42	1,12	–	14,44	–	1,02	0,44
Чехословакия*	58,5	24	–	1,4	12,6	–	2	–
Бельгия*	61,85	24,45	–	–	8,95	–	3,6	0,014

* Данные получены по анализу.

Раствор нитрата никеля получают растворением 100 г $Ni(NO_3)_2$ в 500 мл воды и при приготовлении шихты выливают в песок.

Однако лучшими физическими обесцвечивателями являются соединения редкоземельных элементов – неодима и эрбия, окрашивающие хрусталь в розовые и пурпурные цвета, дополнительные к зеленоватым.

Создание окислительных потенциалов стекломассы и атмосферы печи позволит избежать восстановления оксидов свинца и железа. Окислительный потенциал стекломассы определяется содержанием селитры, мышьяка и сурика в шихте. Совместное введение этих компонентов в шихту обеспечивает наличие кислорода в течение всего процесса варки стекла. Окислительный потенциал атмосферы печи создается при полном сгорании топлива. В продуктах сгорания не должно быть CO при коэффициенте избытка воздуха 1,25–1,3%, что предотвращает возникновение даже локальных восстановительных условий.

В качестве химических обесцвечивателей хрустальных стекол применяют 0,3–0,5% оксида мышьяка в сочетании с селитрой. Рекомендуется вводить с селитрой 4–8% K_2O.

Ряд отечественных заводов с успехом использует в качестве химического обесцвечивателя 0,15–0,3% CeO_2. Преимущества оксида церия –

Глушеные стекла можно получить, используя соединения фтора, фосфора, сульфида цинка. Составы глушеных и сульфидно-цинковых стекол приведены в табл. VIII.6.

Таблица VIII.6. **Составы глушеных и сульфидно-цинковых стекол**

Тип стекла	Содержание оксидов, %									
	SiO_2	CaO	ZnO	Na_2O	K_2O	ZnS	B_2O_3	S^{2-}	Na_3AlF_6	P_2O_5
Глушеное фтором	69	6	5,5	4,5	–	–	–	–	15	–
Глушеное фосфором	65	1	6	7	12	–	4	–	–	5
Сульфидно-цинковое	73	9	–	17	–	1–4*	–	–	–	–
	68,3	4,9	8	16	–	–	1,1	1,7	–	–

* Ввод за счет SiO_2 или сверх 100%.

Для получения цветных глушеных и сульфидно-цинковых стекол вводятся те же красители, что и для получения прозрачных стекол, но в больших концентрациях.

Для варки цветных стекол используют горшковые и ванные печи непрерывного и периодического действия. Наиболее распространены секционные и малогабаритные обычные печи, а также печи прямого нагрева. Освоена варка селенового рубина, а также некоторых стекол насыщенных цветов на свинцовой основе в электрических печах с молибденовыми электродами.

Температурный режим варки и выработки цветных стекол зависит от вида применяемого красителя. Известно, что стекла, содержащие оксиды кобальта (II), никеля (II), железа (II) (синее и дымчатое стекло), обладают меньшей теплопрозрачностью и требуют температуры варки около 1490°С. Выработка изделий из этих стекол из-за большой скорости твердения также проводится при высоких температурах.

Другие стекла (например окрашенные соединениями марганца, оксида церия (IV), селеновый рубин) можно варить при температуре 1400–1420°С.

§ 4. ВЫРАБОТКА СОРТОВОЙ ПОСУДЫ

Ручная выработка выдувных изделий

Производство изделий ручным способом с каждым годом уменьшается. Однако ассортимент выдувных изделий, вырабатываемых ручным способом, который обеспечивает получение высокохудожественных изделий разнообразных форм, весьма значителен.

Формы для выдувания. При ручном способе производства формы выполняют двоякую функцию: придают изделию конфигурацию, красивый блеск, гладкую поверхность и поглощают из вырабатываемого изделия такое количество тепла, чтобы при извлечении из формы оно оставалось прочным и не изменяло конфигурации. Для изготовления форм

в производстве выдувных художественных изделий применяют металл, дерево, цементно-угольную массу, огнеупорный материал, проволочную сетку.

Инструменты и приспособления. При ручном производстве стекла применяют различные инструменты и приспособления, позволяющие использовать приемы формования, отделки и декорирования изделий.

Для ручной выработки массовых изделий используют трубку-самодувку – приспособление для набора стекломассы и последующего выдувания изделий (рис. VIII.1). Выдувание происходит при нажатии на резиновый баллон, при этом воздух поступает на выдувание под давлением 17–18 кПа.

Кувшины, вазы, изделия на ножке и некоторые другие изделия требуют отделки. Для удерживания изделий используются хватки и понтии. Для набора стекла, необходимого при отделке изделий, служит наборная железка. Для отделки изделий применяют также различные сошки, выполненные обычно из березы, ольхи или других лиственных пород. Сошками оттягивают части изделий (например, горло графина) и заглаживают поверхность. Лишнее стекло обрезают ножницами. Имеются также разводные ножницы (в виде пинцета). Некоторые виды инструментов и приспособлений показаны на рис. VIII.2.

Основные операции по выдуванию изделий. При изготовлении любых изделий из стекла предварительно выдувают так называемую ба-

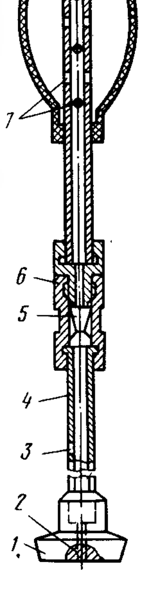


Рис. VIII.1. Трубка-самодувка для ручной выработки изделий:
1 – наборная головка; *2* – выходное сопло; *3* – предохранительное отверстие; *4* – металлическая трубка; *5* – ниппель нижнего клапана; *6* – нижний клапан; *7* – отверстия для прохода воздуха; *8* – резиновый баллон; *9* – ниппель верхнего клапана; *10* – верхний клапан

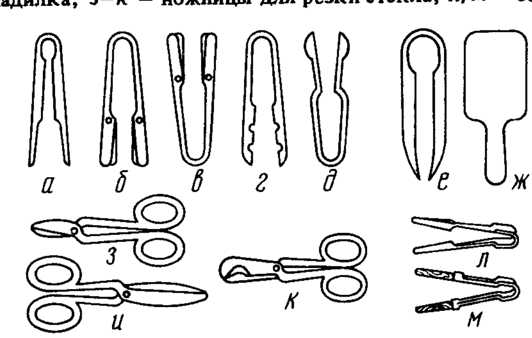


Рис. VIII.2. Инструменты и приспособления, применяемые при ручной выработке изделий:
а–д – ножницы для отделки стекла; *е* – щипцы; *ж* – гладилка; *з–к* – ножницы для резки стекла; *л, м* – сошки.

ночку, имеющую вид сферического пузыря с небольшой полостью. При этом используется свойство стекла плотно приставать к горячему металлу. Перед набором конец трубки разогревают, а потом опускают в стекломассу. Прикоснувшись к поверхности стекла, начинают вращать трубку, чтобы стекло набралось на нее. Когда набрано достаточное количество стекломассы, конец трубки поднимают, не переставая вращать.

Стеклу, набранному на трубку в виде комка неправильной формы, перед выдуванием баночки необходимо придать правильную форму и гладкую поверхность. Для этого набору стекла придают вид продолговатого цилиндра на железной или чугунной плите, которую устанавливают на специальной подставке.

Затем выдувают баночку. От качества изготовления баночки, правильности ее формы, соотношения боковых стенок и сферического дна зависит результат выдувания. Баночка должна иметь стенки одинаковой толщины. Прежде чем набрать следующую порцию стекла, баночке дают возможность охладиться и окончательно затвердеть. Затем трубку с баночкой снова вводят в печь и, вращая трубку, набирают столько стекла, сколько нужно для изделия. В последнее время при изготовлении изделий массового ассортимента используются металлические баночки. Набору придают определенную форму и заглаживают его поверхность в катальнике.

После того как заготовка окончательно подготовлена, приступают к третьей, основной, стадии формования: заготовку раздувают до требуемого размера, одновременно придавая ей окончательную форму. Выдувание может быть выполнено в форме и без нее (свободное выдувание).

Описанным выше способом вырабатывают изделия несложной конфигурации. Изделия сложной формы – графины, кувшины, вазы для цветов, а также изделия на ножке (рюмки, бокалы, фужеры, вазы для фруктов и др.) подвергают отделке. Процесс этот трудоемок, поэтому малопроизводителен. Для примера рассмотрим изготовление некоторых из этих изделий.

И з г о т о в л е н и е г р а ф и н а. После подготовки пульки и выдувания изделия в форме графин берут в хваток, отделяют от трубки и разогревают его горло в печи. Горло обрезают ножницами, заравнивают и развертывают отделочными ножницами. Горла графинов должны иметь одинаковый диаметр, иначе притирка пробок будет затруднена. Пользуясь различными приемами, можно вырабатывать графины различной формы, в том числе и с ручкой.

И з г о т о в л е н и е к у в ш и н а. Подготовленную пульку выдувают в форме обычным способом, затем нижнюю часть кувшина берут в хваток или к дну прилепляют понтию и отделяют трубку с колпачком. Место отделения колпачка разогревают в печи, расширяют край и ножницами обрезают его, придавая нужную форму и оттягивая носик. Для ручки подготавливают небольшую порцию стекла, оттягивают и прикрепляют к корпусу кувшина. После этого отрезают набор, прилепляют второй конец набора и расправляют ручку, придавая ей требуемую форму.

И з г о т о в л е н и е и з д е л и й н а н о ж к е т и п а р ю м о к. Производит изделия бригада в составе 3–9 человек. Этот трудоемкий

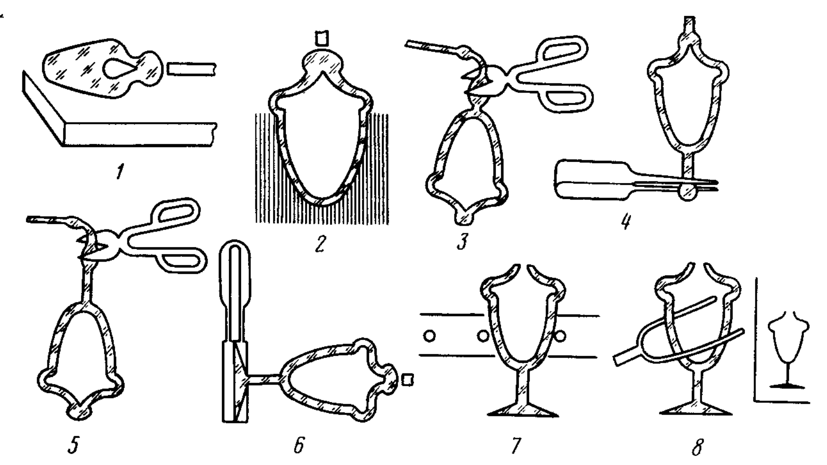


Рис. VIII.3. Последовательность операций (*1–8*) при изготовлении изделий на ножке

процесс включает выдувание сосуда, изготовление ножки и донышка (рис. VIII.3). Выдувание сосуда осуществляется ранее описанным способом. Для изготовления ножки и нижней части сосуда прилепляют необходимую порцию горячего стекла, из которой пинцетом раскатывают ножку требуемой формы. Для оформления донышка к ножке снова прилепляют небольшую порцию горячего стекла, которую раскатывают до необходимой формы и размеров лещедками.

Вакуумно-выдувной способ выработки изделий заключается в формовании черновой пульки с одновременной оттяжкой ножки с помощью вакуума и окончательном выдувании изделия (рис. VIII.4, *а*). Нераскрывная черновая форма вакуумно-выдувной установки соединяется с вакуумной магистралью. При нажатии на педаль, которая соединена с клапаном вакуумной магистрали, в нижней полости формы создается разрежение и происходит заполнение ее полости стекломассой (позиции *I* и *II*). Полученную заготовку с ножкой переносят в чистовую форму и выдувают обычным способом (позиция *III*). Далее прилепляют порцию стекла и раскатывают донышко. Этим способом можно формовать изделия с цилиндрической и конусной ножкой высотой до 100 мм. При соответ-

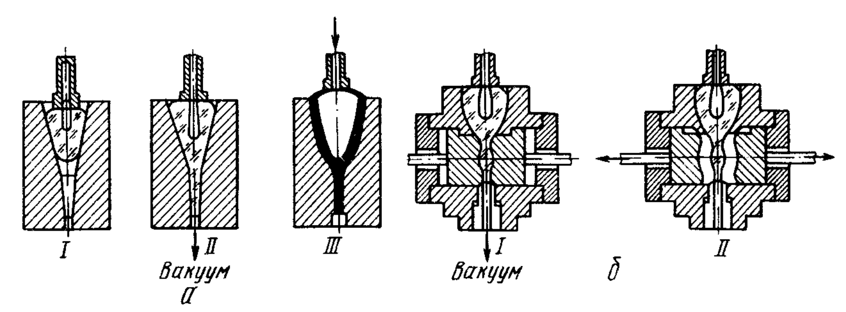


Рис. VIII.4. Схемы формования выдувных изделий с вакуумной оттяжкой ножки

ствующей обработке нижней части черновой формы можно получать ножку с гранями.

Дальнейшее развитие этого способа позволило вырабатывать изделия с фигурной ножкой (рис. VIII.4, *б*). Фигурную ножку формуют в раздвижном приспособлении, которое в сомкнутом положении образует фигурную полость (позиция *I*). Перемещение частей приспособления в противоположные стороны позволяет свободно удалять изделие из формы (позиция *II*).

Вакуумно-выдувной способ выработки рюмок, бокалов и фужеров весьма экономичен и высокопроизводителен. На выработке изделий может быть занято всего четыре человека (один отдельщик, два выдувальщика, один наборщик). Производительность труда значительно выше по сравнению со старым способом, улучшается культура производства за счет уменьшения числа рабочих на верстаке, улучшаются условия труда.

Наряду с вакуумной оттяжкой ножки на ряде стекольных заводов освоена технология формования изделий способом подпрессовки (рис. VIII.5). На станине *1* смонтированы основные узлы установки: пневмоцилиндр подпрессовки *2*, система подготовки воздуха *3*, кран управления *4*, форма *6* с пневмоцилиндром запирания *5*, стойка с трубкодержателем *8*, в котором крепится стеклодувная трубка *7*. Подогрев формы осуществляется горелкой *9*, в которую подается газовоздушная смесь из смесительной камеры *10*. Работу на установке осуществляют следующим образом. Включают подачу газа и сжатого воздуха, зажигают горелки *9*. Подают каплю стекломассы в форму *6* и закрывают ее. Включают кран управления *4* и запирают форму с помощью пневмоцилиндра *5*. Трубку с ранее выдутым сосудом изделия подают к форме и закрепляют в трубкодержателе *8*. Включением крана управления *4* с помощью пневмоцилиндра *2* подпрессовывают ножку к сосуду. После окончания операции отключают кран управления *4*, раскрывают форму *6* и наблюдают за состоянием ножки стеклоизделия, откалывают излишек и оплавляют место откола. На заключительной стадии трубка с изделием передается мастеру-отдельщику для формования донышка раскаткой.

Способ подпрессовки позволяет вырабатывать изделия из хрусталя на ножке сложной конфигурации (с гранями, криволинейными переходами и т.п.). При этом не требуется дальнейшего шлифования и полирования граней ножки. Способом подпрессовки можно формовать изделия с ножкой и донышком сразу; при этом необходимо отделять излишек стекла в нижней части донышка и заплавлять место отделения. Способ подпрессовки применяется также для изготовления декоративных сплошных изделий из стекла.

Изготовление изделий с цветным накладом и декорирование в процессе выработки. Большое влияние на прочность изделий с цветным накладом (тонким слоем цветного стекла, плотно спаянным с основным слоем бесцветного стекла) оказывает соответствие температурных коэффициентов линейного расширения спаиваемых стекол.

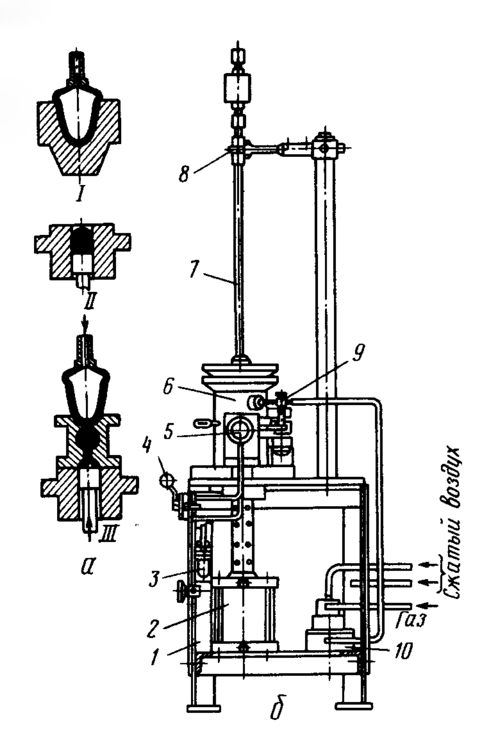


Рис. VIII.5. Схема процесса изготовления изделий на ножке способом подпрессовки (*а*) и общий вид установки (*б*):
I – выдувание сосуда; *II* – подача стекломассы для ножки; *III* – прессование ножки и соединение ее с сосудом

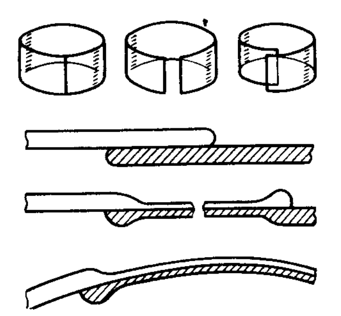


Рис. VIII.6. Схема определения соответствия температурных коэффициентов линейного расширения двух стекол методом кольцевой пробы

Для большинства применяемых в художественном стеклоделии стекол температурный коэффициент линейного расширения составляет $(70–120)\,10^{-7}\,1/°C$.

На практике для определения соответствия ТКЛР двух стекол пользуются методом кольцевой пробы (рис. VIII.6). Из стекол делают двухслойный цилиндр и вырезают из него кольцо, которое разрезают по образующей. При совпадении ТКЛР стекол после охлаждения кольца линия разреза незаметна. Если ТКЛР наружного стекла больше, чем внутреннего, кольцо при остывании расходится, если меньше, кольцо сжимается, и его края заходят один за другой.

Изделия из накладного стекла изготовляют различными способами в зависимости от их вида и последующей обработки. В большинстве случаев изделия с цветным накладом изготовляют, используя цветное стекло непосредственно из стекловаренного горшка или ванной печи.

На бесцветную баночку набирают цветное стекло, из которого выдувают тонкостенный шар (рис. VIII.7, *а*), который разогревают так, чтобы размягчалась только его верхняя половина. Затем трубку поднимают и создают разрежение внутри шара. Разогретая часть шара втягивается внутрь так, что образуется двухстенная воронка (рис. VIII.7, *б*). Внутрь воронки помещают набор бесцветного стекла (рис. VIII.7, *в*). Верхний слой цветного стекла смачивают водой и отбивают (рис. VIII.7, *г*). Далее изделие изготовляют обычным путем.

Другой способ изготовления воронки применяется при изготовлении мелких изделий с цветным накладом, в частности рюмочных изделий

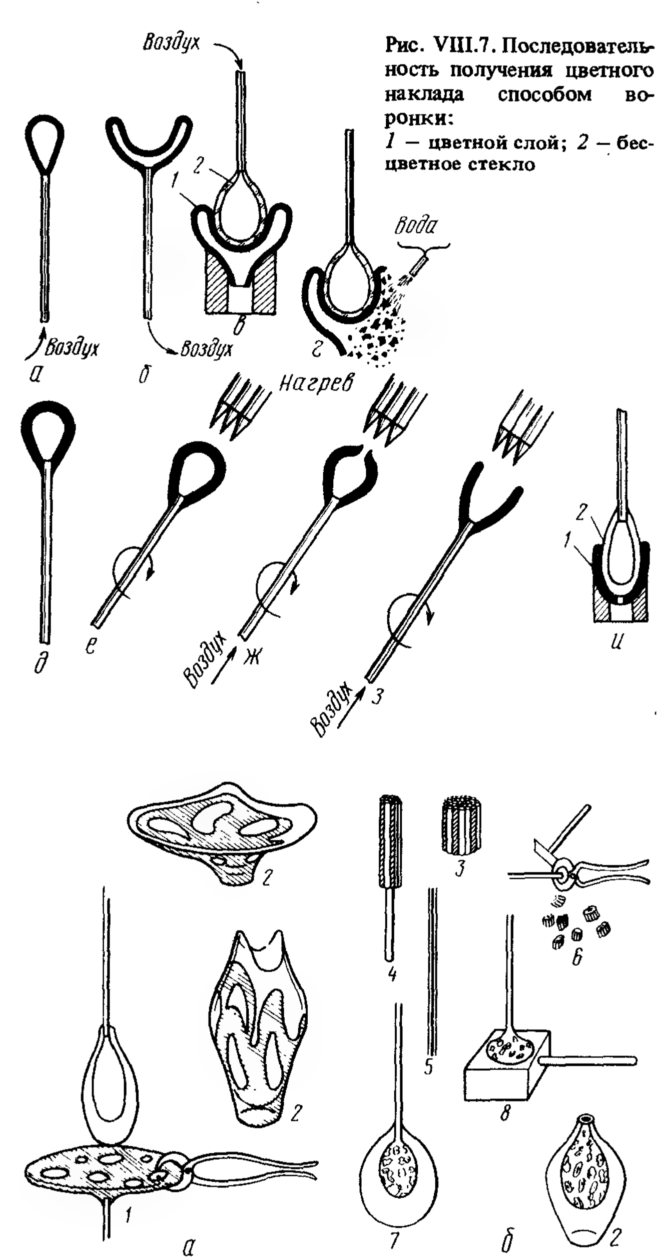


Рис. VIII.7. Последовательность получения цветного наклада способом воронки:
1 — цветной слой; *2* — бесцветное стекло

Рис. VIII.8. Гутное декорирование с использованием цветного стекла:
а — прокалывание в сочетании с накладом; *б* — цветные пятна (миллефиори); *1* — развертка и прокалывание заготовки цветного стекла; *2* — готовые изделия; *3* — декоративный элемент из разноцветных стеклянных стержней: *4* — подготовка стержней к вытягиванию; *5* — вытягивание стержней; *6* — отсекание пластинок; *7* — соединение пластинок с первичным набором и покрытие их стекломассой вторичного набора; *8* — выдувание в форме



Рис. VIII.9. Гутное декорирование изделий при ручной выработке:
а и *б* — свободное формование вазы для цветов и блюда с использованием приемов вдавливания; *в* — формование изделий в "оптических" формах; *г* — навивка цветной стеклянной нити; *д* — украшение изделий тканями из стекловолокна; *е* — украшение изделий цветной стеклянной крошкой; *ж* — изготовление изделий с узором "кракле"

с бесцветной ножкой. Из цветного стекла раздувают тонкостенный шар (рис. VIII. 7, *д*), верхнюю часть которого разогревают до пластического состояния при вращении трубки (рис. VIII.7, *е*). Затем, не прекращая вращения, начинают интенсивно вдувать воздух внутрь шара. В верхней части шара продувается отверстие (рис. VIII. 7, *ж*), которое при продолжающемся нагревании, вращении трубки и вдувании воздуха расширяется до воронки (рис. VIII.7, *з*). После этого нагревание прекращают, а воронку ставят на подставку, помещают в нее набор из бесцветного стекла (рис. VIII.7, *и*) и выдувают изделие обычным путем.

Изделия с накладом из дорогостоящих цветных стекол (например, золотого рубина) получают с применением цапф, которые представляют собой отожженные сплошные цилиндры из цветного стекла.

Цветной наклад можно получить с помощью отпрессованных и отожженных заготовок из цветного стекла в виде полусфер.

Перед изготовлением изделий с цветным накладом заготовки разогревают в специальном приспособлении. Далее используется обычная технология получения изделий с накладом. При использовании такого способа экономится цветное стекло, создается возможность централизованного изготовления заготовок для ряда заводов.

Различают полный наклад, полунаклад и частичный наклад. Выше рассмотрены способы изготовления изделий с полным накладом и полунакладом. Частичный наклад может быть в виде акварельного пятна, тонового перехода, разграниченного наклада, наклада в виде нити, крошки, колец и их вариации. На рис. VIII.8 представлены два из множества приемов гутного (в процессе выработки) декорирования с использованием цветного стекла.

При ручной выработке изделий широко применяют и другие приемы гутного декорирования изделий: вдавливание, вырезание, налеп, рельефное украшение поверхности, вплавление стеклянной крошки, декорирование тканями из стекловолокна, узор "кракле" и т.п. (рис. VIII.9).

Автоматизированная выработка сортовой посуды

Изделия массового спроса (стаканы, изделия на ножке) изготовляют на технологических линиях с применением различных стеклоформующих автоматов.

Производство прессованных изделий. Прессованные изделия производят на автоматических прессах. Процесс изготовления изделий на автоматическом 12-позиционном прессе с прерывисто вращающимся столом (рис. VIII.10, *а*) следующий. На позиции *1* питателем в форму подается капля стекломассы. На позиции *2* происходит прессование изделия. После этого стекло постепенно затвердевает, когда формы проходят позиции *3–7*. На позициях *8–12* изделия и формы охлаждаются.

В последнее время парк отечественного прессового оборудования пополнился зарубежными прессовыми автоматами. Для получения прессованных изделий могут применяться автоматы роторного типа, в которых изделия прессуются при непрерывном вращении столов. Схема механизированной технологической линии для производства изделий из хрусталя представлена на рис. VIII.10, *б*. Из капли стекломассы, полученной в питателе *1*, на прессе *2*, например АПП-12, формуется готовое изделие, которое передается на машину *3* для огневого полирования, где происходит оплавление края и облагораживание поверхности. Далее загрузчиком *4* готовое изделие передается конвейером к печи отжига *5*. После отжига и сортировки изделия в зависимости от ассортимента поступают на склад готовой продукции или проходят декоративную обработку.

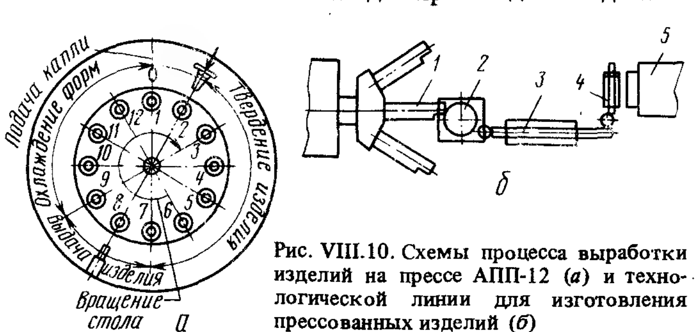


Рис. VIII.10. Схемы процесса выработки изделий на прессе АПП-12 (*а*) и технологической линии для изготовления прессованных изделий (*б*)

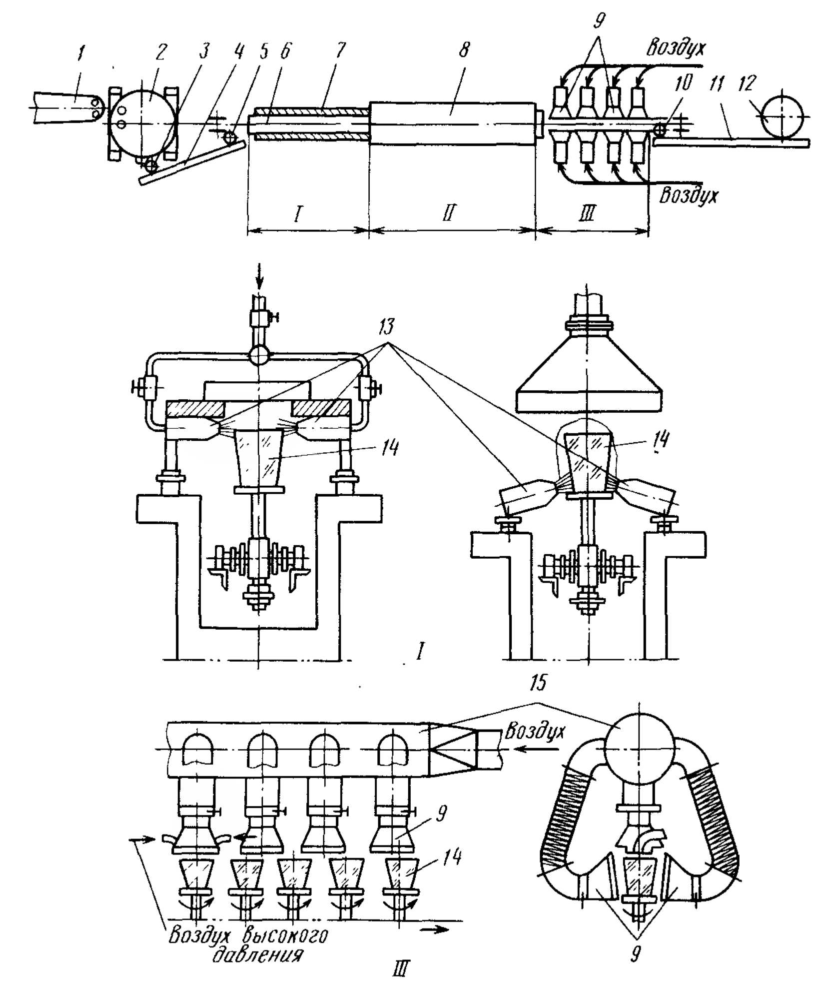


Рис. VIII.11. Схема технологической линии для изготовления прессованных закаленных изделий

Отечественной промышленностью освоено производство закаленных прессованных изделий на поточных линиях (рис. VIII.11).

Линия состоит из стекловаренной печи с питателем *1*, 12-позиционного пресса *2* с 24-мя формами, поворотного стола *3*, конвейера *4* с металли-

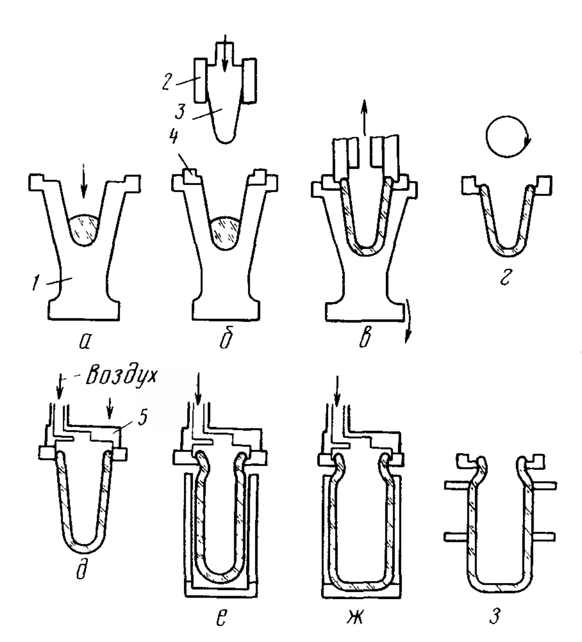
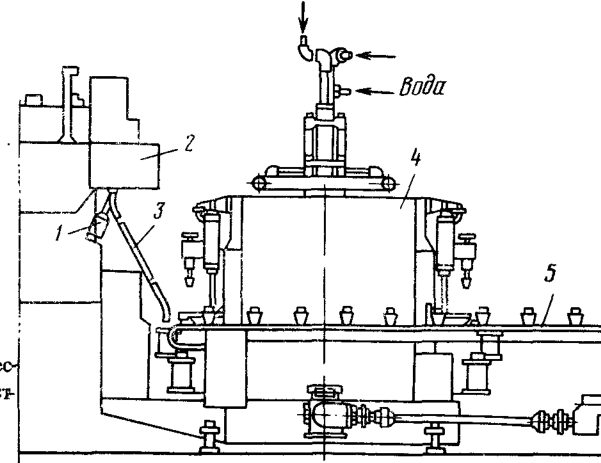


Рис. VIII.12. Схемы работы автомата "Гартфорд-28":
а – подача капли и подъем черновой формы с поворотом; *б* – опускание пуансона; *в* – окончание прессования, подъем пуансона, опускание черновой формы с поворотом; *г* – вращение и вторичное нагревание пульки; *д* – опускание дутьевой головки и начало прерывистого выдувания; *е* – закрывание чистовой формы; *ж* – выдувание; *з* – зажим изделия хватками отставителя и его съем; *1* – черновая форма; *2* – закрывающее кольцо; *3* – пуансон; *4* – горловые кольца; *5* – дутьевая головка

ческой сеткой, переставителя *5* изделий, однорядного цепного конвейера *6*, участка огневой обработки *7*, печи выравнивания температуры *8*, участка закалки изделий, оборудованного обдувочными насадками *9*, съемника изделий *10*, охлаждающего конвейера *11*, стола-накопителя *12*.

Участок огневой обработки *I* предназначен для полирования поверхности и оплавления края изделий. Участок представляет собой туннель, образованный газовыми горелками *13* и расположенными на них огнеупорными плитами. В горелки подают газовоздушную смесь. Изделия *14*



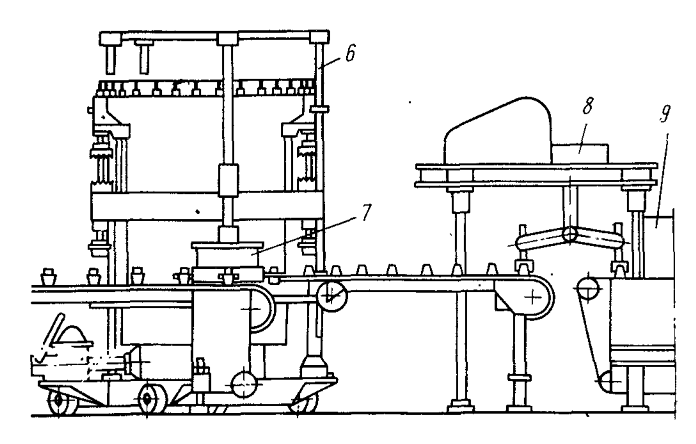


Рис. VIII.13. Технологическая линия по производству прессовыдувных стаканов

сначала проходят зону полирования поверхности, а затем зону отопки края.

Печь выравнивания температур *II* предназначена для нагревания изделий и выдерживания их при определенной температуре перед закалкой. Печь оборудована беспламенными радиационными газовыми горелками, расположенными в два ряда с каждой стороны. Тепловой режим печи регулируется автоматически.

На участке закалки *III* изделия, вращаясь на подставках цепи, проходят через систему обдувочных насадок, расположенных сверху и по боковым сторонам изделий. Воздух под давлением до 0,01 МПа подается в насадки из общего коллектора *15*. Учитывая, что высота изделия типа стакана значительно больше его диаметра, для интенсивного охлаждения внутренней поверхности в первую из верхних насадок подают воздух более высокого давления – до 0,07 МПа. Расстояние от поверхности изделия до обдувочной насадки 10–15 мм, общая длина участка закалки для любых изделий 2000 мм. После закалки изделия подают на конвейер охлаждения.

Линия полностью автоматизирована и управляется со специального пульта. Оборудование и участки линии имеют необходимую контрольно-измерительную и регулирующую аппаратуру.

Производство прессовыдувных изделий. Высокопроизводительный автомат "Гартфорд-28" (США) предназначен для изготовления стаканов. Вырабатываемые стаканы отличаются хорошим распределением стекла в стенках, что позволяет успешно применить огневую отрезку колпачка. Автомат имеет 12 рабочих секций, в состав каждой из которых входят механизмы, расположенные вокруг центральной колонны на непрерывно вращающихся столах.

Основными являются механизмы прессования, горловых колец, дутьевая головка, узел нераскрывной черновой и раскрывной чистовой форм. Питание автомата стекломассой капельное. Последовательность операций формования стаканов на автомате "Гартфорд-28" приведена на рис. VIII.12. Капля стекломассы подается в черновую форму. Затем

на черновую форму опускается горловое кольцо и производится прессование пульки пуансоном. При этом стекломасса заполняет пространство между горловым кольцом, формой и пуансоном, получается венчик, за который пулька удерживается в горловом кольце на дальнейших операциях формования. Продолжительность прессования регулируется в зависимости от размеров изделий.

В дальнейшем черновая форма, опускаясь, освобождает пульку и начинается ее предварительное раздувание воздухом под давлением 2,5 кПа. Затем раздуваемая пулька охватывается створками чистовой формы с поддоном и после окончания предварительного выдувания изделия окончательно выдуваются под давлением воздуха 12,5 кПа.

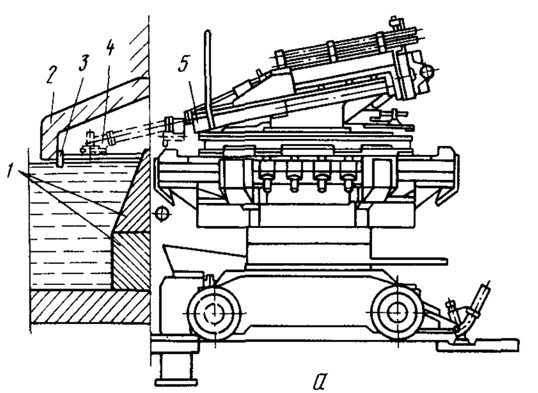
Автомат "Гартфорд-28" входит в состав технологической линии (рис. VIII.13). Капли стекломассы из питателя *2* по лотковой системе *3* с управляющим механизмом *1* подаются в черновые формы автомата *4*. Отформованные на автомате стаканы с колпачком хватками отставителя передаются на конвейер *5* подачи к отрезной машине *6*.

Далее изделие специальным загрузчиком *7* автоматически устанавливается в держатели отрезной машины и удерживается в них с помощью вакуума. Огневая отрезка колпачка осуществляется кольцевыми газокислородными горелками с одновременным оплавлением края изделия. После этого стаканы автоматически дном вверх устанавливаются на конвейер, с которого переставителем *8* подаются в печь отжига *9*.

Производство выдувных изделий. Выдувные изделия могут вырабатываться на автоматах с вакуумным и капельным питанием.

К выдувным автоматам с вакуумным питанием относятся ВС-24 и Р-24 карусельного типа с непрерывно вращающимися столами. Автоматы предназначены для выработки стаканов и состоят из шести секций, в каждой из которых имеется четыре выдувные трубки и четыре чистовые формы. Порции стекломассы автоматически подаются одним четырехрукавным вакуумным питателем, расположенным в верхней части автомата (рис. VIII.14).

Стекломасса из выработочного бассейна или канала поступает в специальное устройство, состоящее из лобового бруса *1*, керамического бота *2* и кранца *3*. Вакуумный питатель машины *5*, перемещаясь по направляющим, вводит в стекломассу наборные головки *4*, в черновые формы *6* которых засасывается стекломасса. Далее питатель перемещается в исходное положение, действие вакуума прекращается и наборы стекломассы *7* падают на выдувные трубки *8*, в которых фиксируются "губами" *9*. Далее при непрерывном вращении стола машины пулька *10* раздувается многократными тщательно дозированными импульсами сжатого воздуха. При этом выдувные трубки поворачиваются на 180°. Створки неподвижно закрепленной чистовой формы *11* закрываются вокруг пульки, висящей на вращающейся трубке, лишь после того, как пулька достигнет заданной длины. Формы имеют специальную обмазку и усиленно орошаются водой перед контактированием с горячей стекломассой. Готовый стакан с колпачком после открывания чистовой формы и губок выдувной трубки падает на расположенный внизу ленточный конвейер. Затем трубки



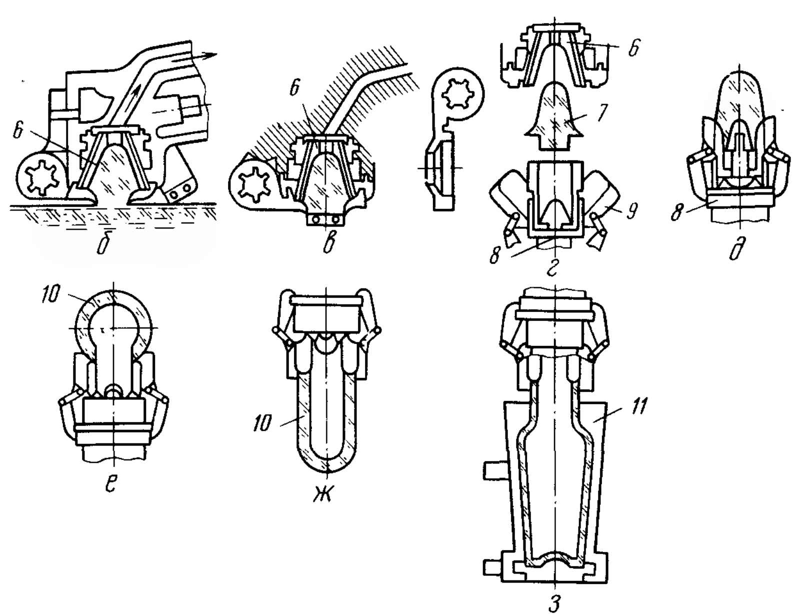


Рис. VIII.14. Установка автомата ВС-24 у печи (*а*) и схема выработки стаканов (*б–з*):
б – всасывание стекломассы; *в* – обратный ход наборной головки и отрезание стекломассы; *г* – передача набора в трубку; *д* – закрывание губок выдувной трубки и вдавливание плунжера; *е* – предварительное выдувание; *ж* – поворот и вытягивание пульки; *з* – выдувание изделия в форме с одновременным вращением трубки

поворачиваются вверх и становятся в исходное положение для приема следующих порций стекломассы.

К выдувным автоматам с капельным питанием относятся Р-25, ВР-24, Р-28, М16/115, на которых можно формовать колбы для термосов, стаканы, сосуды к изделиям на ножке. Капля падает на лоток (рис. VIII.15, *а*), который направляет ее на пуансон прессующего механизма. Поднимаясь (рис. VIII.15, *б*), пуансон прижимает каплю стекломассы к матрице с вакуумным держателем, прессуя заготовку (таблетку). Отформованная таблетка под действием вакуума переносится и сбрасывается на приемный столик (рис. VIII.15, *в*), который в этот момент находится в зафиксированном положении. После сброса таблетки приемный столик начинает вращаться. Одновременно к нему опускается выдувная трубка

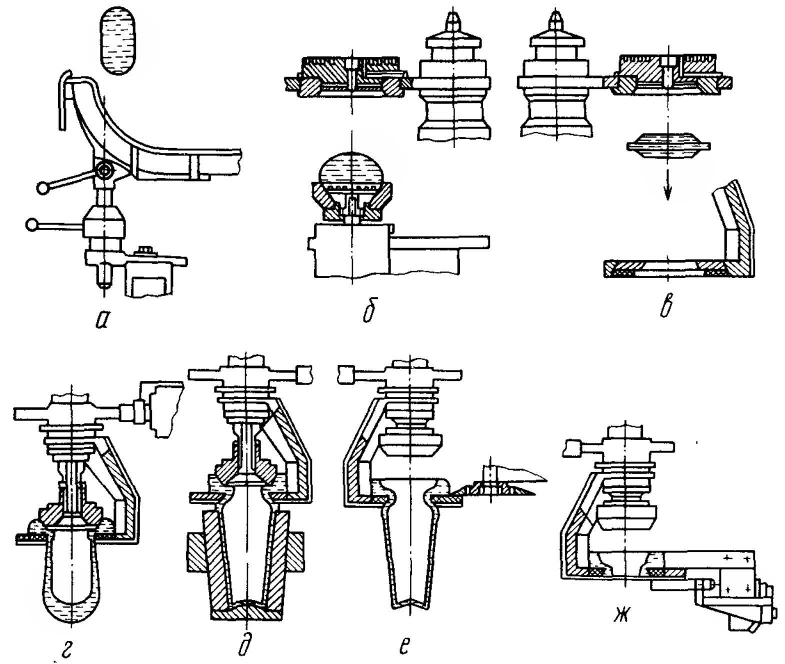


Рис. VIII.15. Схема работы роторного выдувного автомата с капельным питанием для изготовления тонкостенных бесшовных изделий (стаканов)

(рис. VIII.15, *г*). Пулька оттягивается при подаче в ее полость дозированных порций воздуха. Затем чистовая форма закрывается, происходит окончательное (чистовое) выдувание изделия (рис. VIII.15, *д*), форма открывается, выдувная трубка поднимается, после чего положение приемного столика снова фиксируется.

Дисковый нож (рис. VIII.15, *е*) откалывает заготовку изделия от венчика. Изделие падает, а венчик на приемном столике двигается дальше к устройству для очистки (рис. VIII.15, *ж*), которое сбрасывает его в бункер для отходов.

Производство изделий на ножке. Изделия на ножке вырабатываются обычно двухстадийным способом. При этом используют два стеклоформующих автомата: выдувную машину для формования сосуда и пресс для формования ножки с донышком. Существует два способа изготовления изделий на ножке. По первому способу (рис. VIII.16) после изготовления сосуда изделия на выдувной машине (*I*) он устанавливается на пресс в перевернутом положении (*II*) и на него напрессовывается ножка с донышком (*III*).

Этот способ может быть использован для выработки изделий с цветной ножкой. Стекломасса из выработочной части печи *5* поступает в питатель *4* выдувного автомата, устройство для непрерывного окрашивания стекломассы *6* и в питатель *7* пресса *8*. Из питателя *4* стекломасса в виде капель подается на выдувной автомат *3*. На позициях выдувания автомата

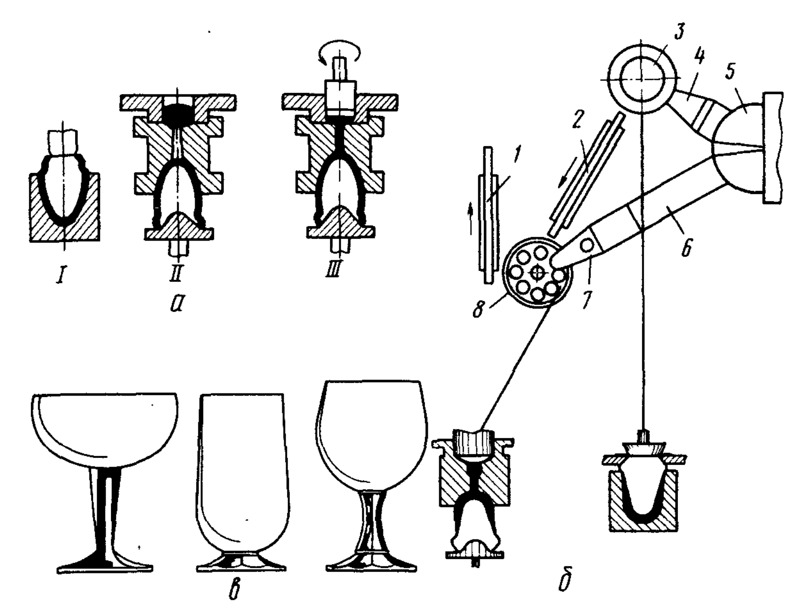


Рис. VIII.16. Схемы изготовления изделий на ножке (*а*), технологической линии для получения изделий с цветной ножкой (*б*) и виды вырабатываемых изделий (*в*)

формуется сосуд изделия, который конвейером *2* передается на пресс *8*, где устанавливается в перевернутом положении. Одновременно из питателя *7* в формы пресса *8* подается капля цветной стекломассы. Далее прессующий механизм продавливает стекломассу через полость ножки и напрессовывает ее на сосуд. При этом пуансон вращается и обеспечивает гладкую поверхность формуемого донышка. Готовое изделие по конвейеру *1* подается к печи отжига.

По второму способу (рис. VIII.17) получают изделия более высокого качества. Капля стекломассы из питателя *1* подается в форму пресса *2*, где на позициях прессования *I* формуется ножка и донышко в положении донышком вверх. На позиции *II* автоматического съема изделие удаляется из формы пресса и ставится на направляющие механизма переворота. На этой позиции изделие ориентируется в положение ножкой вверх и далее конвейером *4* передается на механизм загрузки ножек с донышками в формы выдувного автомата *5*. На выдувном автомате из капли стекломассы, подаваемой из питателя *3*, формуется сосуд изделия и одновременно сваривается с ножкой (позиция *III*). Далее автоматический переставитель снимает изделие с автомата и ставит его на конвейер *6* для транспортировки к печи отжига *8*, куда оно загружается загрузчиком *7*.

Одностадийный способ изготовления изделий на ножке состоит в том, что изделие вырабатывается из одной порции стекломассы (рис. VIII.18). В форме одновременно с выдуванием сосуда формуются утолщенная ножка и донышко изделия (позиция *I*). Затем утолщенная ножка разогревается горелками (позиция *II*) и оттягивается вниз до получения заданной высоты и диаметра (позиция *III*).

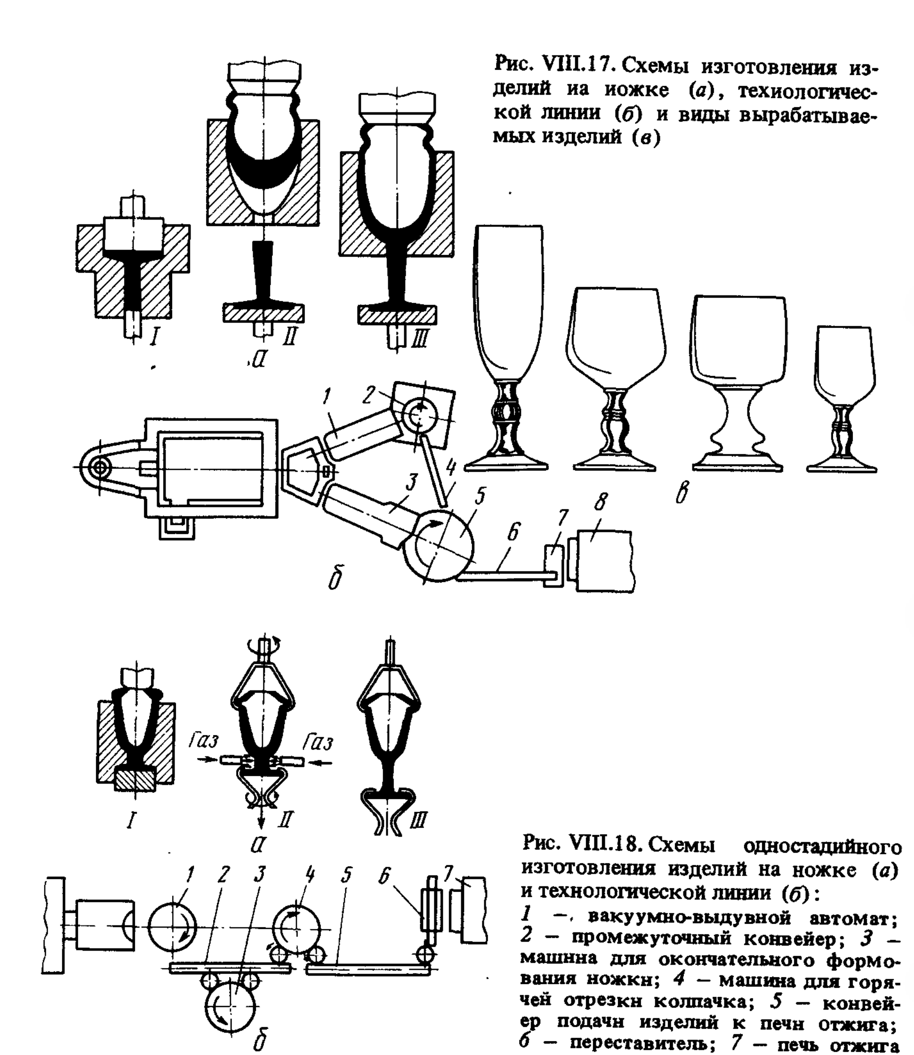


Рис. VIII.17. Схемы изготовления изделий на ножке (*а*), технологической линии (*б*) и виды вырабатываемых изделий (*в*)

Рис. VIII.18. Схемы одностадийного изготовления изделий на ножке (*а*) и технологической линии (*б*): *1* — вакуумно-выдувной автомат; *2* — промежуточный конвейер; *3* — машина для окончательного формования ножки; *4* — машина для горячей отрезки колпачка; *5* — конвейер подачи изделий к печи отжига; *6* — переставитель; *7* — печь отжига

Изделия на ножке могут быть также получены сваркой элементов изделия (сосуда, ножки, донышка) на полуавтоматических станках. Сосуды формуются на автоматах ВК-24, заготовки ножек нарезаются из дрота, а донышки моллируются из круглых заготовок листового приборного стекла.

§ 5. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТЕКЛОИЗДЕЛИЙ

Под первичной обработкой стеклоизделий понимают технологические процессы обработки, которые следуют за формованием изделий на стеклоформующих машинах.

В данном разделе будут рассмотрены такие процессы первичной обработки, как термическое полирование поверхности прессованных изделий и отделение колпачка выдувных изделий. После этих тепловых процессов первичной обработки прессованные изделия превращаются в готовую продукцию, а выдувные подвергаются дальнейшей (вторичной) обработке для придания им более совершенного вида.

Термическое полирование прессованных изделий. Качество прессованной посуды ниже качества выдувных изделий, изготовленных ручным способом, из-за таких дефектов поверхности, как небольшие складки, морщинки, кованость и др. Со всеми этими дефектами можно успешно бороться, применяя термическое полирование поверхности прессованных изделий. Термическое полирование — процесс, при котором нагретое стеклоизделие подвергается действию высокотемпературного теплового потока. При этом тонкий поверхностный слой стекла расплавляется и микронеровности и мельчайшие трещинки, образовавшиеся при формовании, под действием сил поверхностного натяжения сглаживаются. Термическое полирование повышает механическую прочность и химическую устойчивость изделий.

Особенно актуально и перспективно термическое полирование при механизированной выработке прессованных изделий из свинцово-кремнеземистых стекол, так как при этом отпадает необходимость химического полирования.

Применяют четыре вида термического полирования поверхности изделий: высокотемпературным газокислородным или газовоздушным пламенем малой светимости; последовательным воздействием восстановительного и окислительного пламени (для свинцово-кремнеземистых стекол); инфракрасным излучением; низкотемпературной плазмой.

При термическом полировании и использовании газовоздушной смеси хорошие результаты дают туннельные беспламенные горелки. Установки с такими горелками для полирования прессованных изделий из хрусталя получили распространение на ряде заводов (рис. VIII.19).

Установка состоит из сварной массивной рамы, на которой смонтирован привод *1*. Изделия на подставках *2*, двигаясь по эллипсу или окружности и вращаясь вокруг оси, входят в зону действия беспламенной горелки *5*, которую устанавливают в нужное положение с помощью регулировочных штурвалов *6*. Изделия проходят внутри полуоткрытого муфеля *4*, над которым установлен вытяжной зонт *3* для удаления продуктов сгорания.

Отделение колпачка выдувных изделий. При выдувании изделия сортовой посуды обычно получаются с колпачком, который необходимо удалить. Колпачок можно отделять, расплавляя стекло в узкой зоне огнем высокотемпературных горелок (в горячем состоянии), а также создавая условия для образования сквозной трещины путем нагревания и охлаждения (в холодном состоянии).

Огневая отрезка колпачка. Наряду с автоматизацией производства выдувной посуды в последнее время развивается и технология огневой отрезки колпачков стеклоизделий. Этот процесс заменяет

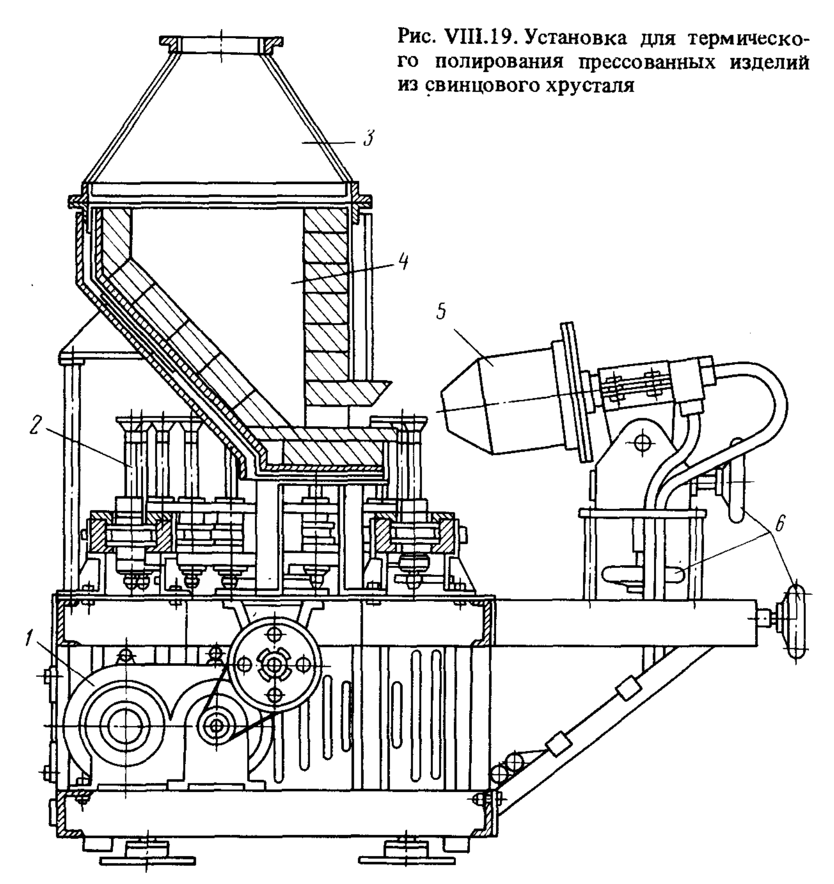


Рис. VIII.19. Установка для термического полирования прессованных изделий из свинцового хрусталя

все последующие операции обработки края (отколку, шлифование, закругление и оплавление). Существует много конструкций отрезных машин, начиная от однопозиционных станков с ручным обслуживанием до высокопроизводительных карусельных автоматов.

Технология огневой отрезки колпачка заключается в том, что расположенные кольцом факелы горелок прогревают стенку изделия в узкой зоне *1* (рис. VIII.20, *а*). Нагретый участок удлиняется и утоняется *2* и части изделия отделяются *3*. На месте отделения под действием сил поверхностного натяжения образуется утолщенный край *4*.

Чтобы отрезанный край получился ровным и гладким, изделие и пламя должны двигаться относительно друг друга. Возможно два варианта: изделие вращается относительно неподвижной кольцевой горелки или горелка вращается вокруг неподвижного изделия.

При нагревании узкой зоны стекла одновременно с уменьшением вязкости стекломассы в этой зоне вниз действует сила растяжения, обусловленная массой колпачка. Толщина стенки в зоне нагревания уменьшается. Равномерность утонения зависит от равномерности толщины стенки по всему периметру изделий. Так как в большинстве случаев толщина

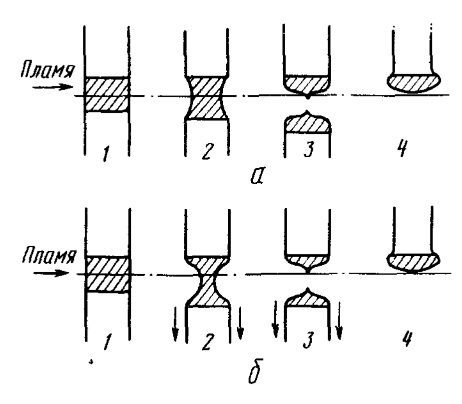


Рис. VIII.20. Схемы процесса огневой отрезки колпачка:
а – под действием массы колпачка;
б – с помощью стягивания

стенки неодинакова, качество отрезки края невысокое. Одновременно с отделением колпачка вытягивается стеклянная нить, которая под действием сил поверхностного натяжения превращается в каплю. Размер капли, как правило, служит эталоном качества отрезки колпачка.

Чтобы оплавленный край изделия получался более тонким и в месте отделения колпачка не образовывалась капля, на новых машинах для отрезки применяют так называемое стягивание колпачка (рис. VIII.20, *б*). Эту операцию проводят при относительно высокой вязкости нагреваемого участка стекла, когда еще не действует сила растяжения, но уже можно, прилагая внешние усилия, уменьшить толщину стенки в месте отреза.

Равномерную толщину стенок изделий при огневой отрезке колпачка обеспечивают прессовыдувные автоматы "Гартфорд-28". Получению равномерной толщины стенок способствует операция предварительного прессования пульки. В состав технологической линии для выработки прессовыдувных стаканов входит 30-шпиндельная отрезная машина С-30, работающая синхронно с автоматом "Гартфорд-28".

Отколка колпачка в холодном состоянии. Процесс отколки колпачка в холодном состоянии основан на использовании физических свойств стекла (теплопроводности, термического расширения). При нагревании узкой полосы стекла можно вызвать локальные внутренние напряжения. В определенный момент эти напряжения превышают предел прочности стекла при растяжении, и часть изделия (колпачок) может быть отделена в месте нагревания. Процесс можно ускорить путем резкого охлаждения зоны после нагревания или надрезания поверхности стекла, в результате чего нарушается его прочность.

Процесс отколки в холодном состоянии осуществляется различными способами. Обычно стеклянные изделия вращаются в центрирующем или зажимном приспособлении вокруг собственной оси. Стекло в узкой зоне с внешней стороны изделия нагревают горелками и сразу же резко охлаждают. Для создания необходимых внутренних напряжений внутренняя поверхность изделия в месте отделения колпачка должна иметь температуру 150–200°С.

На рис. VIII.21, *а* показаны установки, применяемые при отколке колпачка изделий ручной выработки. Установка для предварительного надрезания колпачка изделия в месте отколки настраивается на работу с определенным изделием путем установки подставок *4* и ограничительной пластины *3*. При работе на станке производится подъем держателя

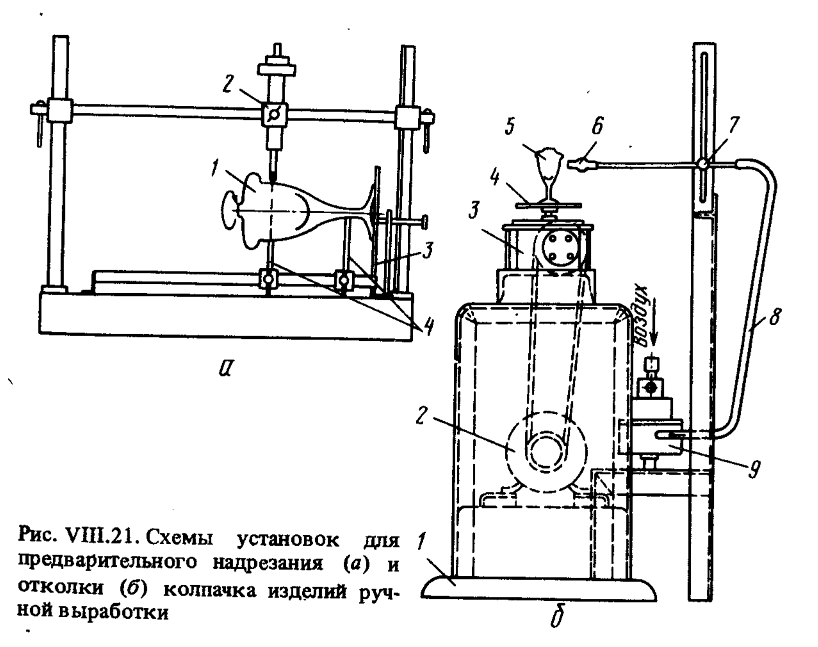


Рис. VIII.21. Схемы установок для предварительного надрезания (*а*) и отколки (*б*) колпачка изделий ручной выработки

2 алмазного резца, установка изделия *1*, опускание держателя и поворот изделия вокруг оси. При этом алмазный резец оставляет круговую царапину в месте отколки колпачка. Далее изделие снимается и устанавливается на вращающемся столике отколочного станка (рис. VIII. 21, *б*).

На сварном основании *1* установлен электродвигатель *2* привода столиков и газовая смесительная камера *9*. Столики *4* (на этом станке их пять) установки изделия *5* приводятся во вращение от электродвигателя *2* через ременную передачу и червячный привод *3*. Горелки *6* можно перемещать по высоте и закреплять в нужном положении зажимом *7*. Со смесительной камерой *9* горелки соединены резиновыми рукавами *8*. Горелка с острым пламенем, установленная в определенном для данного изделия положении, прогревает круговую царапину на поверхности изделия, нанесенную алмазным резцом. При этом образуется круговая трещина, колпачок отделяется, а изделие снимается со столика и направляется на сортировку. При незначительных дефектах отрезки край изделия зачищается металлическим стержнем с насечкой.

Рассмотрим кратко технологию отколки колпачка. Известно, что при нагревании изделия на его наружной поверхности возникают напряжения сжатия, а на внутренней – напряжения растяжения. При охлаждении нагретого изделия наблюдается обратное. Напряжения прямо пропорциональны температурному градиенту по толщине стенки. Если стеклянное изделие, вращающееся вокруг собственной оси, нагревается с одной стороны по узкой круговой зоне, то в его стенке возникает температурный перепад. При резком охлаждении стекла в одном месте этой зоны возникают локальные напряжения растяжения, превышающие предел прочности стекла при растяжении. В результате образуется трещина, которая распространяется по периметру и вглубь, и часть изделия отделяется по линии нагревания.

При предварительном надрезании поверхности стекла трещина образуется в период нагревания, так как для нарушения поверхности изделия достаточно воздействия окружающего холодного воздуха в то время, когда нагретое место с надрезом вышло из зоны действия горелки.

Отрезные машины могут работать и без предварительного нанесения риски, особенно в массовом производстве стаканов. В этом случае изделия равномерно нагревают острым пламенем по линии отреза (при вращении), а затем в определенных местах отреза прикасаются холодным металлом или абразивом. В результате образуется сквозная трещина и колпачок специальным устройством сбрасывается в лоток для боя. Машины, работающие по указанному принципу, могут быть карусельными и конвейерными. При таком способе колпачка качество края обычно несколько хуже, чем при отколке с предварительным надрезанием.

На многих заводах получили широкое распространение карусельные машины для отрезки колпачков в холодном состоянии. В настоящее время эти машины модернизированы. Качество отколки колпачка в значительной степени зависит от правильной работы отколочной горелки, которая должна давать острое бесцветное пламя и располагаться таким образом, чтобы на поверхности изделия создавалась узкая зона нагрева, препятствующая значительным отклонениям развития трещины от заданной плоскости отколки.

§ 6. ОБРАБОТКА СОРТОВОЙ ПОСУДЫ

Обработка изделий из стекла делится обычно на две стадии: первая – предварительная, в результате которой полуфабрикат превращается в готовое изделие. Эта стадия включает в себя процессы отделения колпачка, обработки края изделия, заточки дна и притирки пробок. Вторая стадия – декорирование готовых изделий: нанесение резьбы, широкой грани, гравировка, украшение золотом, силикатными и люстровыми красками, медной и серебряной протравой, химическая, пескоструйная обработка и т.п.

Обработка края и дна изделий. Притирка пробок

Обработка края изделий после отколки колпачка состоит из следующих операций: шлифования торца края, внешнего (фуговка) и внутреннего (фацетирование) сошлифовывания кромок и оплавления края. Для тонкостенных изделий массового производства (например, стаканов) оплавление края может следовать за операцией шлифования. Края толстостенных изделий подвергают шлифованию, фуговке, фацетированию и механическому полированию (рис. VIII.22, *а–г*). Оплавление края в этом случае не производится.

Шлифование края. После отрезки колпачка край изделий получается неровным, поэтому его шлифуют. Ручное шлифование толстостенных изделий сложной формы осуществляют на шайбочном станке СШ-2 с чугунной шайбой диаметром 400–800 мм, вращающейся с частотой 350–450 мин$^{-1}$.

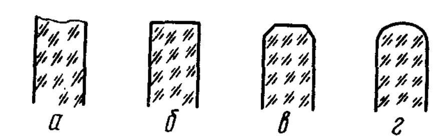


Рис. VIII.22. Операции по обработке края

Чугунную шайбу протачивают таким образом, чтобы на ее поверхности оставались кольцевые бороздки от резца. Это необходимо для того, чтобы абразив лучше удерживался на поверхности. По мере сглаживания бороздок шайбу снова протачивают на станке. Края изделия шлифуют мелким песком зернистостью 16–40 или шлифпорошком 63С (КЗ) и ЭИ № 6.

На шайбу непрерывно подается смесь абразивного материала с водой в соотношении 1 : 8. Процесс шлифования осуществляется за счет ручного прижатия обрабатываемого края к шайбе. Край изделий сошлифовывают до заданных размеров.

Аналогично осуществляется грубое шлифование дна изделий и торца пробки для графинов.

Тонкое шлифование (дистировка) края и дна изделий производится на станке СШ-2 с песчаниковыми, карборундовыми или электрокорундовыми шайбами диаметром 400–600 мм, зернистостью 120–180, вращающимися с частотой 450–480 $мин^{-1}$. Правку, например, песчаниковых шайб проводят два раза в смену наждачным бруском зернистостью 25 с последующей доводкой более мелкозернистым бруском (10, 12).

Фуговку края производят на кольцевой поверхности электрокорундовых и карборундовых кругов диаметром до 400 мм и зернистостью 4–6 (рис. VIII.23, *а*). Возможно применение алмазных кругов зернистостью 60/40 и 40/28. При фуговке изделие прижимают к шлифовальному кругу или шайбе внешней кромкой края. В некоторых случаях фуговку края можно осуществлять непосредственно после дистировки края на песчаниковой шайбе.

Фацетирование края производится на абразивных кругах небольшого диаметра, имеющих плавный переход от кольцевой к торцовой поверхности (рис. VIII.23, *б*). Для фацетирования применяют карборундовые и электрокорундовые круги зернистостью 4–6.

При фацетировании изделие прижимают к специально заточенному кругу малого диаметра (фацетнику) внутренней кромкой края.

Механическое полирование края и дна изделий осуществляется на станке СШ-2 с пенопластовой или пробковой шайбой диаметром 400–600 мм при подаче на ее поверхность водной суспензии пемзы в соотношении 1 : 2. Частота вращения шайбы 700 $мин^{-1}$. Изделия полируют до получения блестящей поверхности.

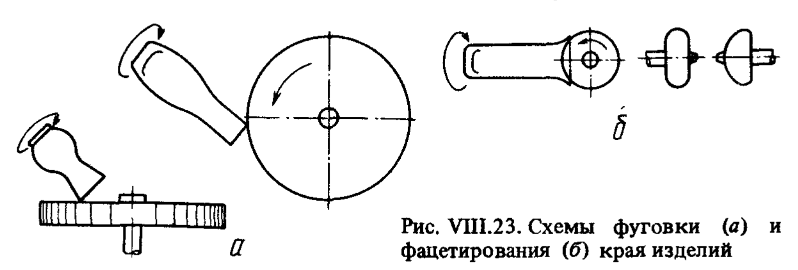


Рис. VIII.23. Схемы фуговки (*а*) и фацетирования (*б*) края изделий

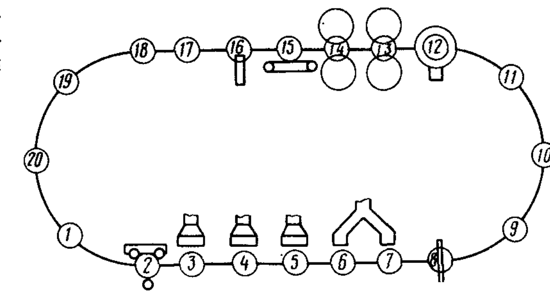


Рис. VIII.24. Схема комбинированной машины для отколки колпачка и обработки края изделий

Для шлифования края изделий массового выпуска применяют машины, работающие в автоматическом цикле, но с ручной загрузкой и разгрузкой изделий. К ним относятся карусельные машины Ш-12 и Ш-6 – модернизированный вариант машины Ш-12. После установки краем вверх в держатель изделия поднимаются и прижимаются к вращающемуся шлифовальному кругу. При этом предусмотрено взаимное смещение вертикальных осей обрабатываемых изделий и шлифовальных кругов, в результате чего исключается образование кольцевых канавок на кругах и уменьшается бой.

За последнее время на стекольных заводах для шлифования края тонкостенных изделий стали широко использовать позиционные полуавтоматы Ш-1, Ш-2 и ШКС-3, которые улучшают условия шлифования и сокращают бой по сравнению с обработкой на машинах Ш-12. На полуавтоматах изделия устанавливаются краем вниз и опускаются на вращающийся шлифовальный круг. Края изделий на полуавтоматах шлифуются кругами из синтетических алмазов марок АПВ и АСВ зернистостью 63/50–80/63, связкой М1 и концентрацией алмазов 50.

На ряде заводов работают комбинированные машины Т-20 и МОС-1 для предварительной обработки изделий, которая заключается в отколке колпачка и обработке края изделия (рис. VIII.24). Эти машины могут работать как самостоятельно, так и в составе линий по производству изделий на ножке. Машины карусельного типа (с верхней каруселью), движение прерывистое, причем за каждый останов выполняется комплекс операций. Изделия устанавливаются колпачком вниз путем закрепления донышка в трехкулачковом реечном патроне (*1**). Далее поверхность изделия надрезается (*2*) и отделяется колпачок (*3–5*). Колпачок падает в бункер для боя, а изделие после охлаждения (*6–7*) проходит автоматический контроль высоты (*8*). После прохождения промежуточных позиций (*9–11*) происходит смачивание изделия водой (*12*) и шлифование края (*13–14*) двумя абразивными кругами. Затем осуществляется фуговка (*15*) и фацетирование края бесконечными абразивными лентами, после чего производится тонкое шлифование края (*17*), и после

* Здесь и далее в скобках указаны позиции машины.

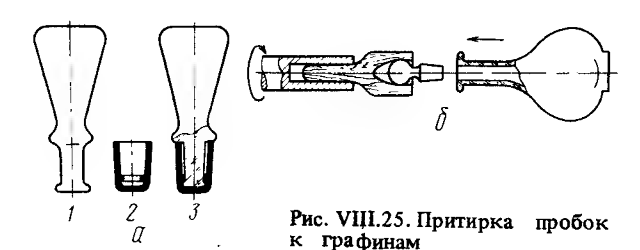


Рис. VIII.25. Притирка пробок к графинам

прохождения промежуточной позиции (*18*) происходит съем изделий (*19–20*).

Притирка пробок. Некоторые изделия (графины для воды и вина, флаконы для духов) выпускают с пробками. Для большей герметичности пробки притирают к горлу графинов и флаконов.

Поверхность после притирки может быть матовой и светлой. Притирка осуществляется вручную на обычных шлифовальных станках типа САГ с патроном для крепления пробок. В настоящее время матовая притирка заменена комбинацией пробки *1* с полиэтиленовым колпачком *2*, который насаживается на стебель пробки *3* после шлифования ее торца (рис. VIII.25, *а*). Благодаря эластичности колпачка пробка плотно прилегает к внутренней стенке горла графина.

При светлой притирке пробок осуществляются следующие операции: грубая притирка пробки к горлу графина, дистировка горла графина, полирование горла графина, полирование стебля пробки. Грубая притирка пробок проводится следующим образом. Пробку закрепляют в патроне стеблем наружу, патрон с пробкой приводится во вращение. В горло графина заносится густая водная суспензия шлифовального порошка, например 63С (КЗ) № 6. Вращающаяся пробка соприкасается с горлом графина (рис. VIII.25, *б*). При этом стебель пробки как бы ввинчивается в горло графина и абразив шлифует горло и стебель пробки. Постепенно стебель пробки по всей длине входит в горло графина, поверхность стебля пробки должна плотно, без качания, прилегать к горлу. В результате такой обработки поверхности изделий становятся грубоматовыми.

Дистировка горла графина производится так же, но используется водная суспензия более мелкозернистого абразива (например, микропорошка 28).

Полирование горла графина осуществляется с помощью водной суспензии пемзы или политрита и волокон льна. При этом на деревянный конус наматывается тонкий слой льняного волокна и конус приводится во вращение. В горло графина вносят полировальную суспензию и приводят горло графина в соприкосновение с вращающимся конусом. Горло полируется до полной прозрачности и блеска. Дистировка стебля пробки проводится на станках типа САГ с помощью абразивного круга при непрерывной подаче воды. Дистировке подвергается торцовая часть стебля пробки. Стебель пробки полируется суспензией пемзы с оксидом олова или полирита на пенопластовом круге, закрепленном на валу станка типа

САГ. Стебель пробки приводится в соприкосновение с кругом, поворачивается вокруг оси и полируется до полной прозрачности и блеска.

Термическая обработка края выдувных изделий. Термическая обработка края выдувных изделий производится после отколки колпачка и шлифования края. Термическая обработка дна осуществляется в процессе формования.

Цель операции оплавление края изделий – устранение режущих кромок края изделия путем его нагревания до размягчения стекла. При этом под действием сил поверхностного натяжения кромки края округляются. Процесс оплавления края можно разделить на три стадии: предварительный подогрев широкой зоны под верхней кромкой изделия, оплавление края изделия при температуре выше точки размягчения стекла, медленное охлаждение изделия (отжиг).

Оплавление края изделий происходит при высокой температуре под действием поверхностных сил, которые при расплавлении тонкого слоя стремятся сократить поверхность.

Для оплавления края подвод тепла к нему должен быть настолько интенсивным, чтобы он закруглился раньше, чем стенка изделия по всей толщине достигнет температуры деформации. Для поверхностного подогрева стекла следует использовать несветящееся, локально направленное пламя высокой температуры. Вязкость стекломассы, при которой под действием сил поверхностного натяжения кромки края оплавляются быстро, составляет 10^4 Па·с, что соответствует температуре около 1000°С.

В настоящее время применяют четыре различных способа размещения оплавочных горелок (рис. VIII.26).

По способам *1* и *2* края оплавляют тогда, когда изделие непрерывно перемещается в направлении, противоположном воздействию пламени, по способам *3* и *4* – при вращении изделия вокруг собственной оси, но без непрерывности его поступательного движения.

При оплавлении края длиннофакельной горелкой по способу *1* трудно создать условия правильного теплообмена, поэтому наблюдается значительное количество боя изделий. Наиболее совершенным для оплавления края тонкостенных изделий является способ *3*. При этом способе горячие газы поступают сверху и быстро нагревают верхнюю кромку края, обеспечивая в то же время плавное изменение температуры в вертикальном направлении от верхней кромки изделия. В результате практически исключается появление узкой локальной зоны критических напряжений. Наиболее распространены в промышленности круговые или овальные машины с одной длиннофакельной горелкой, находящейся с одной стороны туннеля, или с системой горелок, расположенных вдоль рабочей зоны карусельной машины. Изделия устанавливают на круговые

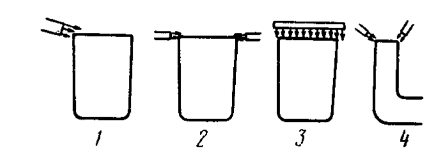


Рис. VIII.26. Способы размещения горелок при оплавлении края

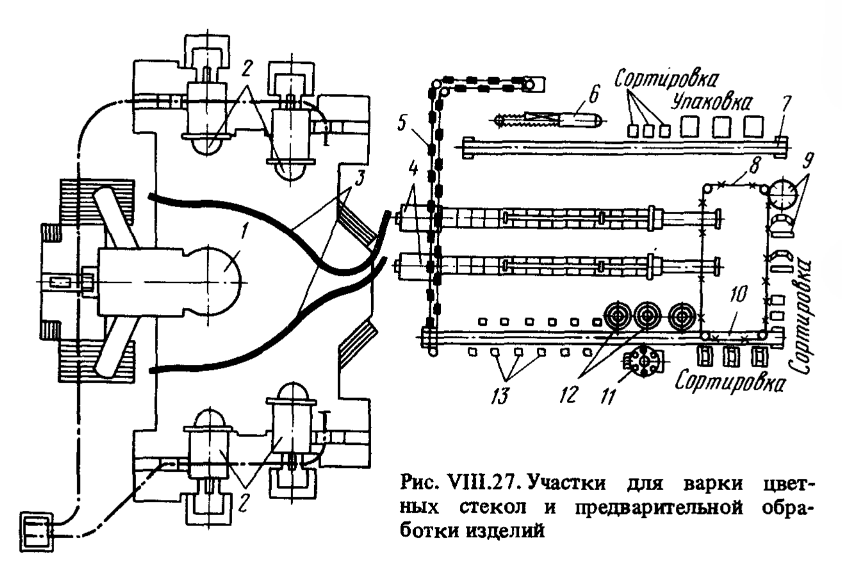


Рис. VIII.27. Участки для варки цветных стекол и предварительной обработки изделий

подставки, которые вращаются вокруг оси и одновременно перемещаются по периметру карусели.

В последнее время для оплавления края изделий используют короткофакельные горелки, устанавливаемые близко к изделиям под углом 45–60° к их вертикальной оси. Набор таких горелок вдоль пути перемещения изделий позволяет создать оптимальный режим оплавления, сводящий бой изделий на этой операции к минимуму.

Предварительная обработка цветных изделий массового производства и стаканов механизированного производства. На ряде заводов освоена технология изделий, окрашенных соединениями редкоземельных и переходных элементов, выработанных на ванных печах, входящих в комплекс. По этой технологии можно вырабатывать комбинированные цветные изделия на ножке, например окрашенный сосуд с бесцветными ножкой и донышком. Изделия проходят только предварительную обработку и не подвергаются декорированию. Все производство осуществляется в едином технологическом цикле. Схема расположения стекловаренных печей и оборудования для предварительной обработки изделий представлена на рис. VIII.27. Мастера-выдувальщики набирают цветную стекломассу из печей-спутников *2*, выдувают сосуд изделия и передают его вместе с трубкой мастерам-отдельщикам для оформления ножки и донышка изделий из бесцветной стекломассы, которую набирают в центральной печи *1* наборщики. После оформления ножки и донышка мастера-отдельщики отделяют изделия от трубки с одновременной установкой их в движущиеся держатели цепного конвейера *3*, перемещающегося к печам отжига *4*. После отжига изделия устанавливаются в держатели цепного конвейера *8*, проходящего через участки отрезки колпачка *9* и сортировки. Далее изделия устанавливаются на ленточный конвейер *10*, вдоль которого расположены полуавтомат *11*, шайбочные станки *12* и индивидуальные станки *13* с горизонтальным шпинделем для шлифования края

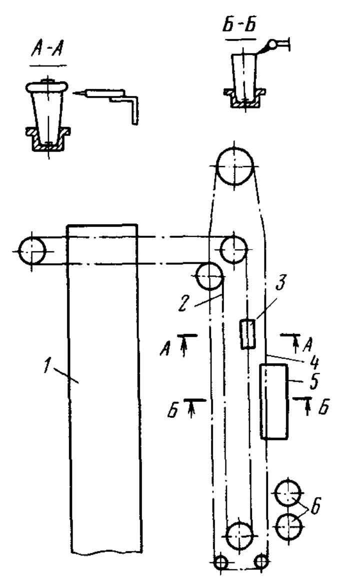


Рис. VIII.28. Схема линии для предварительной обработки стаканов механизированного производства

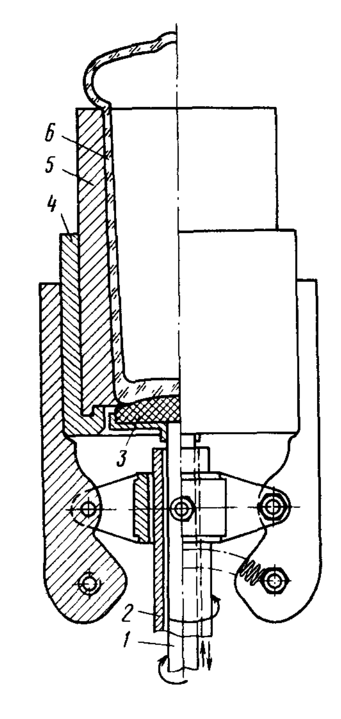


Рис. VIII.29. Форма для выдувания стеклоизделий с полированным дном: *1* – вал поддона; *2* – вал формодержателя; *3* – вращающийся поддон; *4* – формодержатель; *5* – форма; *6* – изделие

изделий. Обработанные изделия люлечным конвейером *5* передаются к машине оплавки края *6*, после чего устанавливаются на ленточный конвейер *7*, окончательно сортируются, маркируются, упаковываются и отправляются на склад готовой продукции.

При механизированном производстве большой выпуск изделий требует максимально возможной механизации и поточности при предварительной обработке изделий. С этой целью при изготовлении прессовыдувных стаканов на автомате "Гартфорд-28" производится горячая отрезка колпачка непосредственно после формования. При изготовлении выдувных стаканов на автоматах ВС-24 вакуумного питания, ВМ-16 и Р-28 капельного питания создаются поточные линии для предварительной обработки, заключающейся в отколке колпачка с его механизированным сбросом, заправке и оплавлении края (рис. VIII.28). При этом возможна различная компоновка оборудования в зависимости от технологии и производственных площадей.

Обычно конвейер *2*, на который устанавливают изделия, выходящие из печи отжига *1*, проходит через участок *3* отколки колпачка, расположенный на более высоком уровне, чем конвейер *4* для шлифования и оплавления края. Изделия с конвейера *2* снимают и устанавливают в машину *6* для шлифования края. С машины изделия ставятся на конвейер

4, расположенный на более низком уровне, и при его движении происходит оплавление края. В зоне оплавления изделия вращаются вокруг оси. Прямолинейность участка оплавления *5* создает оптимальные условия для оплавления края.

Термическая обработка дна выдувных изделий. В результате выполнения операции получают полированное дно изделий без трудоемких операций механического шлифования и полирования. В последнее время разработаны технология и оборудование по получению полированного дна ряда массовых изделий в процессе формования. По этой технологии форма (рис. VIII.29) для выдувания изделий имеет вращающийся поддон из малотеплопроводного органического материала. Поддон вращается в сторону, противоположную вращению формы, с частотой, в 3–4 раза превышающей частоту вращения формы. При формовании изделия вращающийся поддон контактирует с размягченной стекломассой, заглаживает дно изделия и придает ему требуемую вогнутость. Получению хорошего качества дна способствует образование парогазовой прослойки между поддоном и стеклом. Дно изделий получается гладким и блестящим.

Декоративная обработка стеклоизделий с применением абразивных материалов и инструментов

Большинство изделий сортовой посуды обрабатывается связанными абразивными материалами (шлифовальными кругами), применяются также и свободные абразивы (песок, наждак, пемза, полирит и т.п.).

При шлифовании стекла происходят два параллельных процесса: при первом (подготовительном) разрушается на некоторую глубину поверхность стекла и образуется система трещин; при втором (производительном) из верхнего трещиноватого слоя извлекаются осколки. В результате появляется множество выколок, образующих зону разрушения *2* (рис. VIII.30). Глубже покрытого выколками слоя расположен слой, также затронутый шлифованием, но с более слабыми признаками разрушения. Он образован трещинами, идущими глубже трещиноватого слоя, и является зоной предразрушения *3*, где абразив "проводит" подготовительную работу. Если обработка происходит с применением жидкости *1*, смачивающей стекло (воды), то она проникает в образовавшиеся трещины, не дает им срастаться и последующий процесс разрушения активизируется.

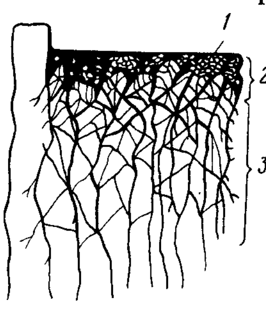


Рис. VIII.30. Схема строения разрушенного слоя стекла

Сущность процесса механического полирования заключается в образовании и удалении кремнекислородной пленки, появляющейся на поверхности стекла под действием воды. При полировании мягкий полировальник с закрепившимися на нем зернами полирующего порошка снимает при своем движении защитную пленку с выступов шлифованной поверхности стекла. После этого обнажившаяся поверхность стекла взаимодействует с водой, образуется новый слой пленки, который снова снимается полировальником. Такое чередование процессов происходит до максимального сглаживания выступов (выравнивания поверхности).

Для получения на изделиях шлифованных рисунков используют шлифовальные круги на основе карбида кремния (карборунда), электрокорунда и синтетического алмаза. В шлифовальных кругах применяют две основные группы связок: неорганические (керамическая К, металлическая М) и органические (бакелитовая Б, вулканитовая В).

В процессе работы связка не должна стачиваться слишком быстро, так как в этом случае абразивные зерна выкрашивались бы совсем не затупившимися. В то же время связка должна истираться настолько, чтобы затупившиеся зерна выкрашивались, своевременно открывая свежие режущие зерна абразива. Скорость истирания связки обусловливает твердость круга: если связка истирается медленно, то круг называют твердым, если быстро, то мягким.

Условные обозначения шлифовальных кругов в паспорте располагаются в следующем порядке.

Наименование абразивного материала: ЭН – электрокорунд нормальный, ЭБ – электрокорунд белый (24А)*; КЧ – корборунд черный; КЗ – карборунд зеленый (63С). Следующие одна, две или три цифры обозначают номер зернистости, буквы с индексом – твердость круга, следующая буква – разновидность связки и, наконец, последняя цифра – тип структуры (характеризует пористость). Например, маркировка ЭБ 6 $СТ_2$ К-8 (24А 6 $СТ_2$ К-8) обозначает: электрокорунд белый, зернистость 6, круг средней твердости на керамической связке, структура № 8. Кроме того, в паспорте указывают размеры круга: внешний диаметр, толщину и диаметр отверстия; окружную скорость и завод-изготовитель.

В настоящее время круги из карборунда и электрокорунда используют в основном для предварительной обработки, нанесения элементов валового и номерного шлифования. Так как для декоративной обработки изделий используют главным образом алмазные круги, ниже будут рассмотрены их характеристики.

Шлифовальные круги изготавливают на основе природных (А) и синтетических (АС) алмазов. Природные и синтетические алмазы имеют одинаковую кристаллическую решетку, плотность, твердость и другие физико-механические свойства. Различаются они только формой зерен, характером их поверхности, прочностью и хрупкостью.

Синтетические алмазы АСО, АСР, АСВ, АСК и АСС различаются прочностью зерен. Наименее прочные зерна у алмазов АСО, наиболее прочные у алмаза АСС. Зернистость алмазных порошков определяется размерами сторон ячеек двух контрольных сит в микрометрах, из которых через верхнее сито зерна должны проходить, а на нижнем задерживаться. Например, 63/50 обозначает зернистость алмазного порошка, при которой зерна алмаза проходят через сито с номинальным размером стороны ячейки в свету 63 мкм и задерживаются на сите с размером стороны ячейки 50 мкм.

---

* В скобках дано новое обозначение материала.

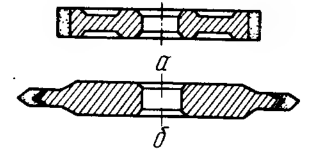


Рис. VIII.31. Формы алмазных кругов, применяемых для декоративной обработки изделий

Шлифовальные круги на основе синтетических алмазов имеют металлический корпус, на рабочую поверхность которого нанесен рабочий алмазоносный слой толщиной 0,1–3 мм в зависимости от размера и назначения круга.

Для нанесения на изделия широкоплоскостной грани в основном применяют алмазные круги плоского прямого профиля АПП (рис. VIII.31, *а*), для нанесения алмазной резьбы – круги с двусторонним коническим профилем А2П (рис. VIII.31, *б*). Зернистость и размеры кругов зависят от размеров обрабатываемых изделий и выполняемых операций. Например, для грубого шлифования граней следует применять круг зернистостью 125/100, а для тонкого шлифования – 50/40.

Концентрация алмазов в алмазоносном слое определяет их массовое содержание в единице объема алмазоносного слоя. За концентрацию 100 условно принято содержание 4,39 карата алмазов или 0,878 г на 1 см^3 алмазоносного слоя. Алмазные круги изготовляют концентрацией 25–200 с интервалом 25 единиц. В стекольной промышленности обычно применяют круги с концентрацией алмазов 50, 100, 150.

В маркировке кругов из синтетических алмазов предусмотрены основные данные, их характеризующие. Например, маркировка круга А2П 125×10×5×32 -90° -АСВ-50/40-М1-100-24-1600-1984-ТЗАИ обозначает: А2П – алмазный плоский круг с двусторонним коническим профилем; 125 – наружный диаметр, мм; 10 – ширина алмазоносного слоя, мм; 5 – толщина алмазоносного слоя, мм; 32 – диаметр посадочного отверстия, мм; 90° – угол профиля круга; АСВ – вид алмаза (алмаз синтетический высокой прочности); 50/40 – зернистость (верхний и нижний пределы размеров зерен, мкм); М1 – связка металлическая; 100 – концентрация алмазов; 24 – содержание алмазов в алмазоносном слое, караты; 1600 – номер круга; 1984 – год изготовления круга; ТЗАИ – завод-изготовитель (Томилинский завод алмазных инструментов).

При нанесении на изделия рисунков алмазной резьбы оптимальные характеристики алмазных кругов формы А2П выбирают с учетом размеров изделий (табл. VIII.7).

Для успешной работы торцовое и радиальное биение рабочих поверхностей алмазных кругов диаметром 150–250 мм после установки их на станке не должно превышать 0,01 мм. Чтобы не было биения, необходимо производить правку и балансировку кругов. Усилие на алмазный круг при обработке мелких и средних изделий составляет 5–50 Н, а при обработке крупных и особо крупных изделий – 60–100 Н. При обработке изделий алмазными кругами целесообразно применять смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ).

Таблица VIII.7. Характеристика алмазных кругов

Элементы алмазной резьбы	Диаметр, мм	Толщина, мм	Угол заточки, град	Скорость, м/с	Марка и зернистость
Мелкие изделия					
Грани, резьба,	250	6–8	110	30–40	АСР-50/40-М1-100; АСМ-50/40-М1-100
Кусты	150	10–20	–	25–30	То же и многожальные
Насечки	150	3–6	110		
Медальоны	75	6	90	15–20	
Средние изделия					
Глубокие грани	250	6–8	110	30–40	
Медальоны, насечки	75	6	90	15–30	АСВ-50/40-М1-100-150
Кусты, звездочки	150	3–6	90	25–35	
Крупные изделия					
Глубокие грани	250	8–12	90	33–44	АСР-125/100-М1-100; АСВ-100/100; АСВ-50/40-М1-100-150
Медальоны, насечки	150	6	90	25–35	АСВ-50/40-М1-100-150
Кусты, звездочки	150	3–6	90	25–35	
Особо крупные изделия					
Глубокие грани	250	12–16	90	33–44	АСР-125/100; АСВ-100/80; АСВ-50/40-М1-100-150
Медальоны, насечки	150	6–8	90	25-35	АСВ-50/40-М1-100-150
Кусты, звездочки	150	6	90	25–35	

Виды декоративной обработкн. Рисунки валового и номерного шлифования относятся к простейшим видам, выполняемым на стеклоизделиях из натрий-кальций-силикатного бесцветного и цветного стекла. Рисунки обычно не полируют, они остаются на изделии матовыми. Для нанесения рисунков используют мелкозернистые электрокорундовые круги с широким закругленным или овальным ободом, а также с двусторонним коническим профилем. При нанесении рисунков на изделия массового ассортимента снимают небольшой слой стекла.

Нанесение **широкоплоскостной грани** – это способ украшения поверхностей ваз, графинов, пепельниц и других толстостенных изделий шлифованными и полированными плоскостями. Для лучших образцов граненого стекла характерна геометрическая точность нанесения плоскостей. Для гранения особенно подходят свинцовые хрустали, у которых высокие показатели преломления и дисперсии. Гранят также изделия из цветного

8 — Зак. 1068

и особенно из накладного стекла. Нередко гранят отдельные элементы стеклоизделий: ножки и донышки рюмок, бокалов, фужеров и т.п.

Гранение изделий обычно производится в три стадии: грубое шлифование (обдирка), тонкое шлифование (дистировка), полирование.

При обработке больших толстостенных изделий все операции осуществляют на шайбочных станках: грубое шлифование — на чугунной шайбе с песком, тонкое шлифование — на песчаниковой шайбе, полирование — на деревянной или пробковой шайбе с применением войлочных накладок. В последнее время для полирования применяют шайбы из эластичного полихлорвинила. Изделия сложной формы гранят на ободе вертикальных шлифовальных кругов. Раньше грубое шлифование (обдирку) поверхности изделий производили на металлическом круге с песком, дистировку — на электрокорундовом круге, а полирование — на деревянном или пробковом круге. В настоящее время первую стадию гранения выполняют на алмазных кругах АПП-400x40x5x127-АСВ-63/50-М1-50. Полирование широкой грани производят с помощью шайбы из эластичного полирхлорвинила.

Ответственным видом работ является гранение ножки рюмок, бокалов, фужеров, креманок, ваз для конфет, фруктов и т.п. Тонкие ножки часто ломаются от вибрации круга, при неосторожных движениях откалываются донышки. Приемы нанесения широкой грани на ножку следует выполнять следующим образом: взять изделие одной рукой за корпус, другой рукой — за донышко; расположить изделие горизонтально по отношению к кругу; слегка прижать ножку к кругу и свободным движением рук вправо и влево отгранить нужное число граней (обычно шесть) поочередно.

Возможно сочетание гранения с гутным декорированием, гравированием и алмазной резьбой. Широкие грани на изделиях можно получить при формовании. Изделия с граненой ножкой могут быть получены следующими способами: вакуумно-выдувным, подпрессовки, механизированным по двухстадийному процессу. Получение граненых ножек при формовании позволило значительно повысить производительность труда, заменив трудоемкие ручные операции шлифования и полирования.

Алмазную резьбу на стеклоизделиях выполняют шлифовальными кругами с острым режущим профилем. Благодаря отражению и преломлению света на полированных поверхностях прорезанных в стекле граней возникает яркая игра света. По аналогии с игрой света в бриллианте (граненом алмазе) эта резьба и получила название "алмазной". Кроме того, очертания некоторых элементов резного рисунка напоминают граненые драгоценные камни.

Эффект алмазной резьбы прежде всего зависит от оптических свойств стекла, а также от формы изделия и толщины его стенок. При выполнении алмазной резьбы на стекле должны получаться так называемые призмы полного внутреннего отражения. Поэтому угол режущего профиля кругов должен быть равен или немного больше 90° (в зависимости от диаметра изделия и глубины прорезанной грани).

Введение в состав стекла оксидов, увеличивающих показатели преломления и дисперсии, в особенности PbO, усиливает световые эффекты

резного стекла. Высокий показатель преломления калий-свинцово-силикатного стекла обеспечивает эффектную световую игру и при больших углах режущего профиля круга, поэтому на хрустальных изделиях рисунки алмазной резьбы могут быть более разнообразными.

При выполнении алмазной резьбы на изделиях из простого стекла угол режущего профиля круга не должен превышать 100°, а на изделиях из свинцового хрусталя — 120°.

Угол режущего профиля связан с размерами изделий, глубиной грани, показателем преломления стекла. Имея эти данные, можно рассчитать угол режущего профиля абразивного круга по формулам

$$\sin\beta = \frac{2d}{\sqrt{2(d-2h)^2+4h^2}}; \quad l = \frac{2dh}{\sqrt{(d+2h)^2+4h^2}};$$

$$\beta = 2\arcsin 1/n,$$

где d — внешний диаметр изделия; h и l — глубина и ширина алмазной грани; n — показатель преломления стекла.

Для алмазной резьбы характерны следующие виды прорезов: шарик *1* и оливка *2* (при перемещении изделия круги соответствующего профиля дают желобчатый прорез), клинообразный острый *3*, *4*, рубчатый *5* и ровный *6* (рис. VIII.32).

После предварительной обработки края изделия поступают на разметку, которая заключается в нанесении на поверхность изделий основных контуров будущего рисунка.

Размеченные изделия конвейером подаются на обработку. Грани наносят вручную: изделие прижимают к режущей кромке алмазного круга и плавно передвигают его по контуру рисунка. При нанесении элементов рисунка рабочий придает изделию различные положения относительно алмазного круга.

Для охлаждения применяют воду или смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ) на водной основе, которые подают на круг. Вода и СОЖ предотвращают нагревание круга и изделия при обработке, удаляют частицы сошлифованного стекла и способствуют процессу разрушения стекла с помощью режущей кромки круга. Расход воды и СОЖ при обработке мелких изделий составляет примерно 60 л/ч, крупных изделий — 120 л/ч.

В процессе работы алмазный инструмент изнашивается, причем наибольший износ претерпевает режущая кромка круга. При износе круга сверх допустимого, а также при затуплении и засаливании его режущей поверхности необходима правка круга.

Если при нанесении рисунка алмазной резьбы рабочий прижимает изделие к кругу таким образом, чтобы через изделие был виден процесс обработки, и изделие касается режущей кромки в передней части круга, то это метод обработки "сверху". При обработке изделий из цветного стекла или с накладом применяют метод обработки "снизу": изделие соприкасается с нижней частью круга и работающий может наблюдать за ходом обработки, так как она происходит на непосредственно обращенной к нему поверхности изделия.

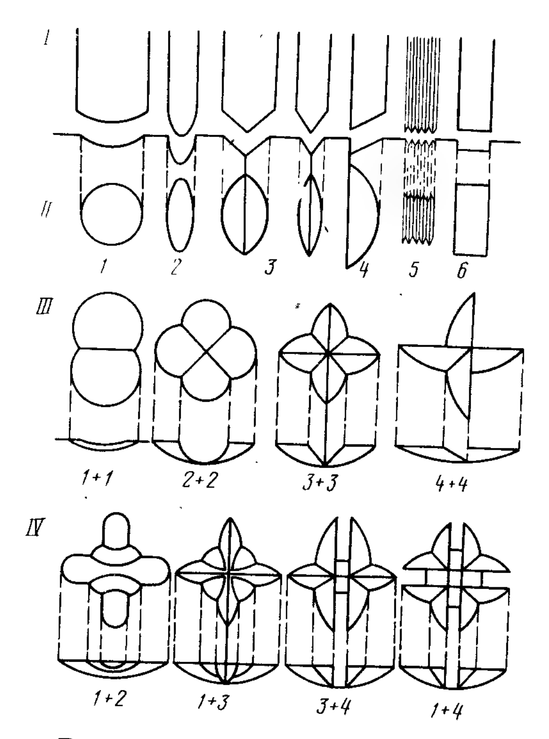
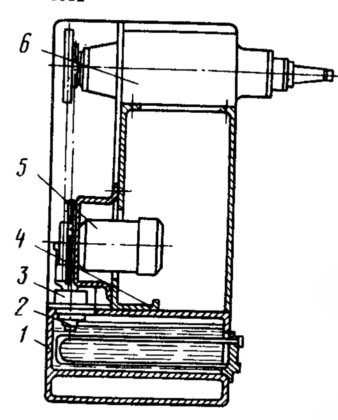


Рис. VIII.32. Основные формы прорезов изделий кругами:
I – профили шлифовальных кругов; *II* – формы прорезов; *III* – сочетания однородных элементов; *IV* – сочетания разнородных элементов

Рис. VIII.33. Схема станка типа САГ



Для нанесения на изделия простейших рисунков валового и номерного шлифования используют станки САГ-1 и САГ-2.

Для обеспечения необходимой частоты вращения старые станки заменены новыми. Наиболее распространенными являются станки с гидродинамическими подшипниками типа САГ двух моделей: САГ-3 для обработки крупных и средних стеклоизделий и САГ-4 для обработки средних и мелких стеклоизделий.

Станина станков типа САГ (рис. VIII.33) состоит из двух частей. Нижняя часть *1* станины служит резервуаром для масла, подаваемого к гидродинамическим подшипникам насосом *2*. На этой части станины расположены электродвигатель *3* привода насоса и верхняя часть *4* станины. На верхней части станины крепятся электродвигатель *5* привода шпинделя и корпус шпиндельной бабки *6*.

Для нанесения на изделия рисунков алмазной резьбы применяются также станки типа ШАГ, которые наиболее эффективны при использовании алмазного инструмента. Шпиндель шлифовальной головки станков выполнен на аэростатических подшипниках. Вращение шпинделя осуществляется от встроенного в шлифовальную головку двухскоростного электродвигателя и позволяет доводить частоту вращения до 3600 мин$^{-1}$. Последние модели станков этого типа, например ШАГ-3В2 (рис. VIII.34, *а*), имеют ряд преимуществ перед станками типа САГ. Радиальное и осевое биение шпинделя уменьшено до 2–3 мкм, что позволяет работать на более высоких скоростях. Существенно уменьшены

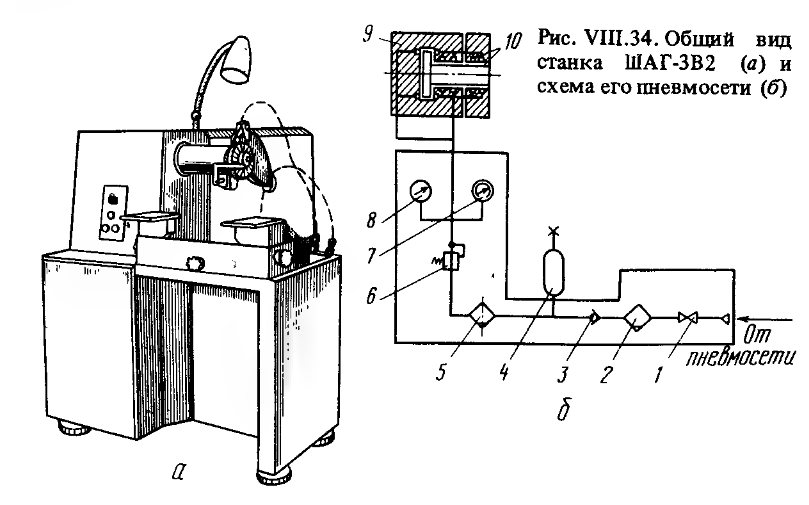


Рис. VIII.34. Общий вид станка ШАГ-3В2 (*а*) и схема его пневмосети (*б*)

габаритные размеры и масса станка, снижено энергопотребление. Станки ШАГ-3В2 не требуют при монтаже фундамента, их устанавливают на виброопорах непосредственно на полу цеха.

Для работы станка необходима пневмосеть с давлением воздуха 4–6 кПа. От заводской пневмосети воздух подается через вентиль *1* (рис. VIII.34, *б*) во влагоотделитель *2*, где он очищается от грубых примесей воды и масла. Затем воздух проходит через обратный клапан *3* и фильтр *5* тонкой очистки. От фильтра воздух поступает в аэростатические подшипники *10* шлифовальной головки *9*. Для предотвращения исчезновения или падения давления в пневмосети в схеме предусмотрены регулятор *6* и реле давления *7*, обратный клапан *3* и ресивер *4*. Реле давления настраивается так, чтобы при давлении 0,4 МПа электродвигатель привода отключался, а воздух, оставшийся в ресивере, обеспечивал плавное вращение опор в течение "выбега" шпинделя (10 с). Давление контролируется манометром *8*. Повышенное давление воздуха в корпусе шпинделя исключает необходимость применения специальных уплотнителей.

Для механизированного нанесения рисунков алмазной резьбы на полые изделия массового ассортимента применяют также восьмипозиционные полуавтоматы. На полуавтоматах наносят тонкие и глубокие декоративные грани: прямые, диагональные и пересекающиеся, овальные, сфероидальные, плоские, кольцевые, угловые, клинообразные. На один рисунок можно наносить до восьми граней различной длины. На полуавтоматах применяют шлифовальные круги на керамической связке, а также алмазные шлифовальные круги различной твердости и зернистости. Стеклоизделия устанавливают вручную. После включения полуавтомат работает по заданной программе нанесения граней до выключения. Так как во время нанесения граней на одном полуавтомате можно устанавливать стеклоизделия на другой, один рабочий может обслуживать несколько полуавтоматов. Узоры резьбы меняют, заменяя кулачковые диски и делительные колеса, а также регулируя положение кулис,

шпинделя с винтовой нарезкой, кулачков, механизмов передачи и регулирующих клапанов. Перевод полуавтомата на нанесение другого рисунка длится, как правило, около 20 мин.

Наряду с использованием современного обрабатывающего оборудования для нанесения простых рисунков имеются станки для нанесения на изделия рисунков повышенной сложности.

При обработке стеклоизделий алмазным инструментом применение воды недостаточно эффективно. Алмазный круг, вращаясь с высокой частотой, нагнетает воздух в зону обработки и затрудняет проникание в эту зону охлаждающей жидкости. Кроме того, известно явление "засаливания" круга, уменьшающее производительность инструмента. Поэтому при шлифовании стекла алмазным инструментом целесообразно применять смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), содержащие поверхностно-активные вещества (ПАВ) и другие добавки. Например, при обработке изделий из хрусталя рекомендуются СОЖ следующего состава, %:

	Ручная обработка	Механизированная обработка
Трансформаторное масло	0,65–0,95	–
Вазелин	–	0,2–0,4
Препарат ОС-20 (смесь полиэтиленгликолевых эфиров высших жирных спиртов)	0,4–0,8	0,15–0,4
Дициандиамидформальдегидная смола (ДЦУ)	–	0,2–0,4
Серная кислота	0,3	–
Вода	Остальное до 100%	

Смазочное действие СОЖ сводится к снижению работы трения режущих и давящих алмазных зерен. Очень важны моющие свойства СОЖ. "Засаливание" микропрофиля поверхности алмазных зерен происходит за счет адгезии мелкодисперсных частиц сошлифованного стекла к алмазному зерну и друг к другу вследствие наличия на их поверхности пленки гидросиликатов. Поверхностно-активные вещества в составе СОЖ (препарат ОС-20) создают на сошлифованных частицах стекла адсорбционные слои ПАВ, что уменьшает их адгезионную способность, увеличивает смачивающую способность СОЖ и облегчает ее проникание в зону непосредственного контакта алмазных зерен со стеклом.

Гравирование – способ нанесения рисунка глубиной 0,5–5 мм абразивными порошками или твердыми инструментами малых размеров. Как правило, художественную гравировку на стеклоизделиях выполняют медными кругами, приваренными к сменным держателям. В процессе работы на медные круги подают тонкий порошок наждака или карбида кремния, разведенный в масле, керосине или их смеси до состояния кашицы.

Гравирование осуществляется зернами абразивного материала, а медные круги лишь передают давление этих зерен на стекло. Гравированные рисунки обычно не полируют. Если даже гравированный рисунок полируют, он обладает присущими только ему декоративными свойствами.

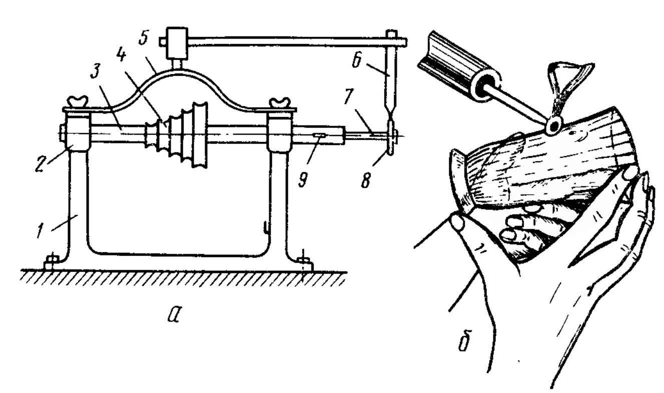


Рис. VIII.35. Схема станка для ручного художественного гравирования рисунка (*а*) и положение изделия при гравировании (*б*):
1 – основание; *2* – подшипники скольжения; *3* – шпиндель; *4* – ступенчатый шкив; *5* – изогнутая металлическая полоса; *6* – приспособление для подачи абразивного материала; *7* – наконечник; *8* – медное колесо; *9* – отверстие для выталкивания наконечника

Самым быстрым и наименее трудоемким является так называемое скользящее гравирование. Это разновидность поверхностного гравирования стекла, так как глубина рисунка на стекле менее 0,5 мм. Указанным способом обычно выполняют широкими медными или закругленными шлифовальными кругами несложные рисунки и надписи. Иногда гравируют изделия с тонким слоем накладного стекла, а также изделия, поверхность которых окрашена диффузным способом или путем нанесения силикатных люстровых красок и др.

Широко распространен способ гравирования стекла небольшими шлифовальными кругами.

Для художественного гравирования рисунков на изделиях сортовой посуды обычно применяют простейшие малогабаритные станки с выносным шпинделем, в который вставляется держатель с медным кругом (рис. VIII.35).

Кроме того, для гравирования рисунков на крупных изделиях могут быть использованы бормашины, приспособления с гибким валом, станки и приспособления, выполняющие художественное гравирование по копиру и фототрафарету с использованием алмазных шлифующих головок.

Принцип гравирования стекла с помощью ультразвука заключается в следующем. Рабочий элемент станка совершает движения вверх-вниз с частотой 20000 колебаний в секунду (20 кГц). Ход рабочего элемента составляет несколько сотых долей миллиметра. На нижней торцовой поверхности рабочего элемента из твердого сплава отчеканен рисунок, который нужно перевести на стекло. Между торцовой поверхностью рабочего элемента и стеклом подают суспензию абразива. За счет многократных ударов рабочего элемента зерна абразива выбивают на стекле рельеф, соответствующий изображению на торцовой поверхности рабочего элемента.

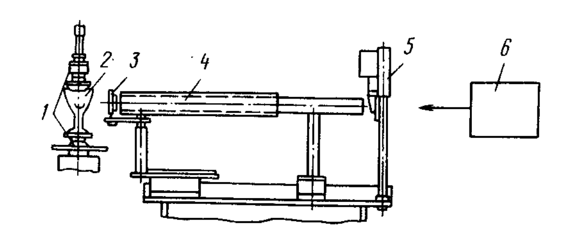


Рис. VIII.36. Однопозиционная лазерная установка для гравирования стекла

Рисунки на стеклоизделиях можно также гравировать с помощью лазера. Этот вид обработки основан на тепловом действии лазерного луча, который проплавляет канавку в поверхностном слое стекла. Для поверхностного гравирования стекла может быть использован газовый CO_2-лазер, который может работать в непрерывном режиме и обладает достаточной мощностью. Его излучение с длиной волны 10,6 мкм хорошо поглощается поверхностью стекла, в результате чего создаются благоприятные условия для поверхностного гравирования.

Однопозиционная лазерная установка для гравирования стекла (рис. VIII.36) состоит из лазера *6*, электромагнитного клапана *5* для прерывания излучения после окончания цикла обработки, телескопической трубки *4*, фокусирующей линзы *3*, пропускающей излучение с длиной волны 10,6 мкм, системы *1* закрепления и заданных перемещений изделия *2*. Установка может комплектоваться качающимся столом, копиром, приспособлениями для колебания и вращения линзы, позволяющими получить на изделии волно- и петлеобразные линии. За счет комбинирования движений изделия и фокусирующей линзы можно получать очень сложные рисунки.

Применение лазерной технологии и соответствующих устройств позволяет значительно расширить возможности декорирования изделий.

Пескоструйное декорирование основано на том, что зерна кварцевого песка, с силой ударяясь о поверхность стекла, оставляют на ней выколки и царапины. В результате стекло становится матовым и поток падающего или проходящего света рассеивается.

Декорирование художественных изделий осуществляется на специальной установке струей песка, подаваемой на изделия с помощью сжатого воздуха (рис. VIII.37, *а*).

Очищенный воздух, подаваемый по магистрали *1*, захватывает песок из бункера *2*. Песчано-воздушная смесь по шлангу через сопло *3* направляется на обрабатываемое изделие *6*, установленное в камере *5* на вращающейся подставке *7*. Для отсоса пыли служит вентилятор *4*, а для сбора отработанного песка–бункер *8*. В этом случае необходимо применять трафареты, которые предохраняют определенные места поверхности стекла от разрушения. Трафареты изготовляют из мягких металлов, каучука, резины, пластмасс, клеевых мастик, проклеенной бумаги.

Массовые изделия, например стаканы, декорируют вакуумно-пескоструйным способом. Устройства для этого способа декорирования высокопроизводительны и легко компонуются в технологических поточных линиях. Декорирование осуществляется при контакте вакуумно-

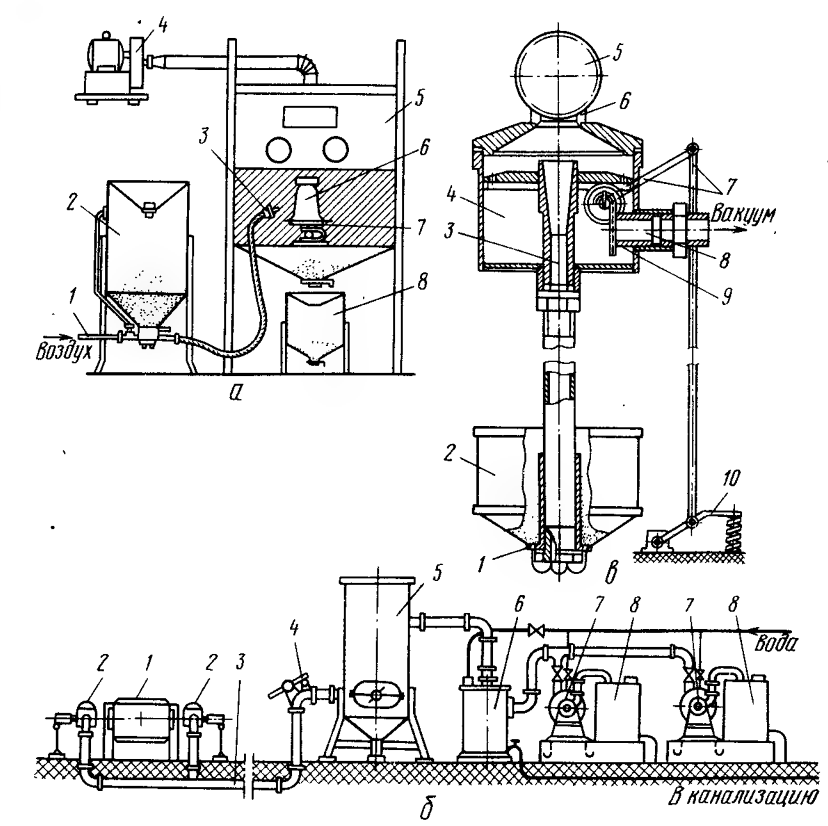


Рис. VIII.37. Нагнетательная (*а*) и вакуумная (*б*) установки для пескоструйного декорирования изделий, рабочая вакуумная головка (*в*)

пескоструйных головок с изделиями, в результате практически исключается пыление.

Вакуумная установка (рис. VIII.37, *б*) состоит из вакуумных водокольцевых насосов *7* с воздухоотделителями *8*, пылеуловителя *6* для мокрой очистки воздуха от пылевидных частиц песка, ресивера *5*, клапанов *4* сброса вакуума, вакуумной магистрали *3*, идущей к рабочим колонкам *2*, установленным по бокам ленточного конвейера *1*, подающего изделия на обработку.

Колонка устройства (рис. VIII.37, *в*) состоит из камеры *4*, воронки *2* для кварцевого песка с отверстиями *1* подачи песка на всасывание, сопла *3* для разгона зерен песка, патрубка *8*, соединяющего колонку с вакуум-проводом, и клапанного устройства *9*, связанного рычажным механизмом *7* с ножной педалью *10*, гнезда *6* с шаблоном.

Изделие *5* укладывается в полусферическое гнездо *6* и плотно закрывает камеру от доступа атмосферного воздуха. Нажимая педаль, открывают клапан, соединяющий колонку с ресивером, в камере образуется разрежение, равное 6–6,2 кПа. Кварцевый песок, высыпаясь из воронки

свободно через отверстия, засасывается в верхнюю часть камеры через сопло, приобретает определенную скорость и направление. Выходная часть сопла выполнена так, чтобы максимально использовать поток песка. Изделия, удерживаемые в гнезде с помощью вакуума, бомбардируются потоком частиц песка. Незащищенные шаблоном участки поверхности изделия матируются по рисунку. Частицы песка, потеряв силу и скорость от удара о поверхность стекла, легко меняют направление и устремляются к открытому в это время патрубку, далее – в ресивер и пескоуловитель. Весь цикл нанесения 3–4 рисунков на чайный стакан длится 9–10 с. На одной рабочей колонке можно обработать 2500 стаканов в смену.

Для **полирования** различных шлифованных рисунков и плоскостей (элементы широкоплоскостного гранения, алмазной резьбы, гравирования) на декоративных изделиях из бесцветных и цветных натрий-кальций-силикатных стекол используют механическое полирование с помощью кругов из пенопласта, древесной пробки, войлока, свинца и олова. Рисунок можно также полировать волосяными щетками диаметром 80–120 мм. Частота вращения кругов, шайб и щеток 400–800 мин$^{-1}$ в зависимости от ассортимента. Полирующими материалами служат водные суспензии пемзы или микропорошка (например, 14А № 28), а также суспензии трепела, полирита, крокуса, оксида олова.

Конвейерно-поточная система обработки стеклоизделий. Процесс нанесения рисунка при конвейерно-поточной системе производства делят на простейшие операции. Длительность выполнения каждой операции должна быть кратной длительности наименее трудоемкой операции нанесения рисунка. Операции производственного процесса размещают в технологической последовательности по принципу прямого потока. Каждая операция закреплена за определенным рабочим местом. Полуфабрикат (гладкие изделия) транспортируется по линии потока ленточными конвейерами.

Для ритмичной работы конвейерно-поточной линии определяющее значение имеет такт потока, т.е. время между моментами схода с конвейера каждого готового изделия или между моментами прохождения через любую точку потока полуфабрикатов, движущихся один за другим.

Такт потока τ рассчитывается по формуле

$$\tau = \tau_1 / P,$$

где τ_1 – рабочее времи за смену; P – выпуск продукции за времи τ_1, шт.

При непрерывной работе потока длительность каждой операции равна или кратна такту потока.

Для расчета скорости движения изделий v на конвейере можно пользоваться формулой

$$v = l/\tau,$$

где l – расстояние между транспортируемыми изделиями (шаг изделий).

Шаг изделий на конвейере рассчитывают по формуле

$$l = \tau_2 v,$$

где τ_2 – наименьшая продолжительность операции по нанесению элементов рисунка.

При конвейерно-поточной системе обработки создаются единые бригады рабочих из 60–80 человек. Бригадир распределяет работу среди групп шлифовщиков-алмазчиков и рабочих других специальностей. При выполнении рисунков на изделиях каждая группа шлифовщиков-алмазчиков формируется в соответствии с приемами нанесения рисунка. Таким образом, и при большом составе бригады сохраняется принцип подетального разделения труда. Для бригады устанавливают единые нормы выработки и сдельные расценки. Оплата труда производится по результатам работы бригады за определенный период времени с учетом установленной каждому рабочему тарифной ставки и фактически отработанного времени. Как показал опыт, такая организация труда обеспечивает лучшую загрузку рабочих, работающих на конвейерных линиях, упрощает учет результатов работы, стимулирует рост производительности труда и улучшает качество продукции.

В состав бригады входят бригадир, шлифовщики-алмазчики высшей и средней квалификации, разметчики, мойщики-съемщики. В зависимости от ассортимента изделий в состав бригады могут входить и другие рабочие.

В таких коллективах высокую эффективность приобретают новые формы организации труда и социалистического соревнования: бездефектное изготовление продукции, сдача продукции с первого предъявления и т.п.

На рис. VIII.38 представлена технологическая последовательность нанесения рисунка алмазной резьбы на стакан, исходя из равной продолжительности выполняемых операций.

Операции нанесения рисунка могут быть и не одинаковыми по времени. Тогда по отношению к наименьшим затратам времени определяют коэффициент кратности и в соответствии с ним число рабочих, выполняющих данную операцию. Так, если коэффициент кратности равен 1,72, то данную операцию выполняют двое рабочих.

При конвейерной обработке стеклоизделий на каждое из них составляют карту организации труда, в которой отражают основные характеристики технологического процесса, операции нанесения рисунка, нормативы времени и число рабочих на каждой операции. Карты разрабатывают на основе хронометража работы шлифовщиков-алмазчиков с учетом производительности труда и качества изделий.

Рассмотрим организацию труда при конвейерно-поточной обработке фужера "Банкетный" (рис. VIII.39), выпускаемого Гусевским хрустальным заводом. Рисунок на фужере включает широкий желобчатый прорез, полученный закругленным шлифовальным кругом, пересекающиеся вертикальные и горизонтальные грани алмазной резьбы. Изделия обрабатывают на станках ШАГ-3В алмазными кругами А2П-250×8×5×32-110 АСВ-50/40-М1-100-24. Для нанесения желобчатого прореза используют круги диаметром 150 мм, вращающиеся с частстой 2400 мин$^{-1}$.

При составлении карт организации труда определяют нормативы времени на разных операциях, нормативное число рабочих на операции и шаг изделий на конвейере (табл. VIII.8).

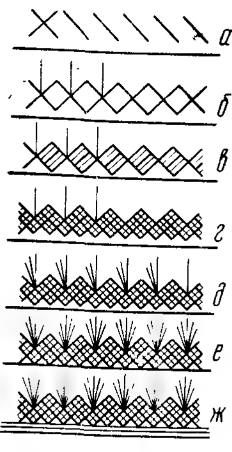




Рис. VIII.38. Последовательность (*а–ж*) нанесения рисунка алмазной резьбы на стакан (*з*)

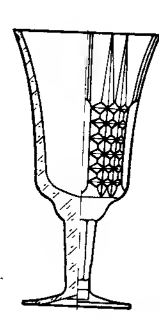


Рис. VIII.39. **Фужер "Банкетный"**



Рис. VIII.40. Конвейерно-поточная линия по обработке стеклоизделий

Таблица VIII.8. Трудоемкость операций при обработке фужера "Банкетный" на конвейерно-поточной линии

Операция	Норматив времени, с	Коэффициент кратности	Нормативное число рабочих
Нанесение желобчатого прореза	14,6	1	1
Нанесение граней			
горизонтальных	30,4 } 71,3	2,1 } 4,9	5
вертикальных	40,9	2,8	

Примечания: 1. Скорость движения конвейера 1 м/мин.
2. Расчет шага изделий на конвейере 14,6 · 1 : 60 = 0,24 м.

Эффективность конвейерно-поточной системы обработки изделий значительно возрастает при использовании средств механизации для нанесения алмазной резьбы, например полуавтоматического станка для нанесения кольцевых граней.

Общий вид конвейерно-поточной линии обработки изделий представлен на рис. VIII.40.

Химическая обработка стеклоизделий

Химическая обработка стекла основана на разрушении стекла плавиковой кислотой.

Существуют следующие виды химической обработки изделий сортовой посуды: химическое полирование рисунков алмазной резьбы, матирование поверхности стекла, декоративное травление.

Химическое полирование применяется главным образом для полирования элементов алмазной резьбы на изделиях из свинцового хрусталя. Для каждого химического состава стекла устанавливают свои режимы полирования.

Полирование осуществляется в смеси плавиковой HF и серной H_2SO_4 кислот (система HF – H_2SO_4 – H_2O – стекло). Главной частью смеси является плавиковая кислота, которая, вступая в реакцию со стеклом, образует газообразный фторид кремния, а также фториды и кремнефториды металлов. Эти реакции приводят к растворению стекла, сглаживанию шероховатостей на шлифованной поверхности.

Образующиеся фториды и кремнефториды в основном малорастворимы и очень быстро покрывают поверхность стекла плотным слоем. Вводимая в полирующую смесь серная кислота взаимодействует с фторидами и кремнефторидами, превращая их в легкосмываемые сернокислые соли.

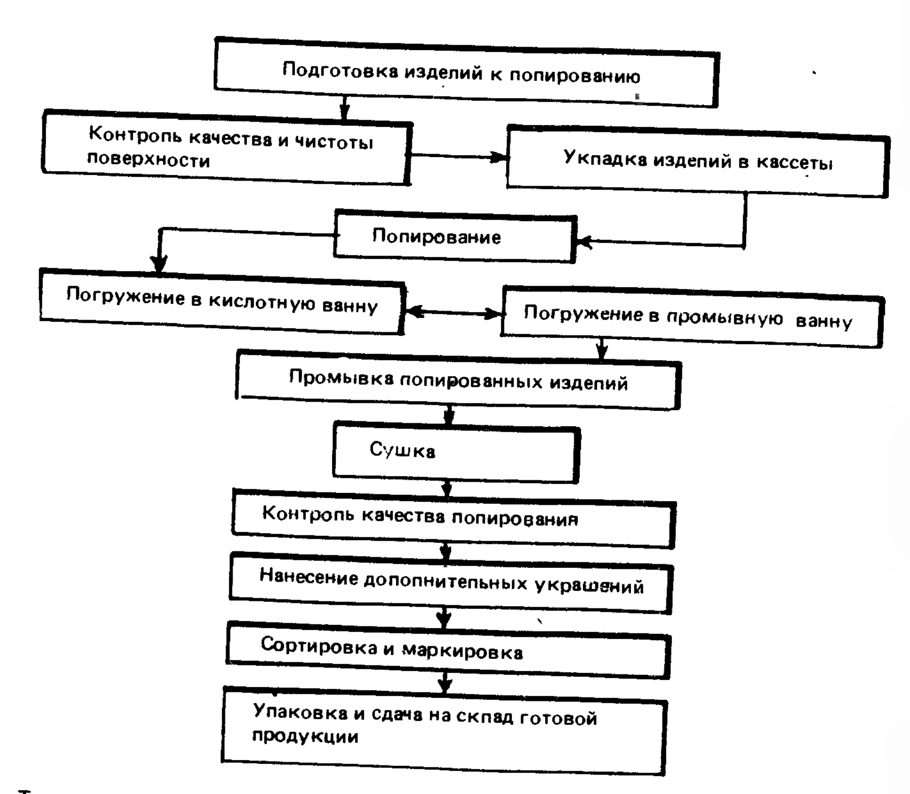
Комплекс химических реакций, происходящих при полировании, можно разбить на два этапа.

Первый этап. Действие избытка плавиковой кислоты на стекло:

$$Na_2O \cdot SiO_2 + 6HF \rightarrow Na_2SiF_6 + 3H_2O;$$

$$K_2O \cdot SiO_2 + 6HF \rightarrow K_2SiF_6 + 3H_2O;$$

$$PbO \cdot SiO_2 + 8HF \rightarrow PbF_2 + 2H^+ + (SiF_6)^{2-} + 3H_2O;$$



Технологическая схема химического полирования стекла

$$CaO \cdot SiO_2 + 8HF \rightarrow CaF_2 + 2H^+ + (SiF_6)^{2-} + 3H_2O;$$

$$MgO \cdot SiO_2 + 8HF \rightarrow MgF_2 + 2H^+ + (SiF_6)^{2-} + 3H_2O;$$

$$SiO_2 + 6HF \rightarrow (SiF_6)^{2-} + 2H^+ + 2H_2O.$$

Второй этап. Реакции, протекающие под действием серной кислоты в зависимости от условий полирования:

$$Na_2SiF_6 + H_2SO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + (SiF_6)^{2-} + 2H^+;$$

$$K_2SiF_6 + H_2SO_4 \rightleftharpoons K_2SO_4 + (SiF_6)^{2-} + 2H^+;$$

$$PbF_2 + H_2SO_4 \rightleftharpoons PbSO_4 + 2HF;$$

$$CaF_2 + H_2SO_4 \rightleftharpoons CaSO_4 + 2HF;$$

$$MgF_2 + H_2SO_4 \rightleftharpoons MgSO_4 + 2HF;$$

$$2H^+ + (SiF_6)^{2-} \rightleftharpoons SiF_4 + 2HF.$$

На первом этапе равновесие в полирующем растворе смещено полностью в сторону образования продуктов реакции, в то время как на втором этапе реакции обратимы и смещение равновесия зависит от концентрации серной кислоты, степени разбавления раствора, содержания воды и температуры.

Химическое полирование можно осуществлять солями плавиковой кислоты, в частности фторидом-бифторидом аммония $NH_4F \cdot NH_4HF_2$. В результате взаимодействия $NH_4F \cdot NH_4HF_2$ с серной кислотой в полирующем растворе образуется плавиковая кислота:

$$2NH_4F + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4 + 2HF;$$

$$NH_4HF_2 + H_2SO_4 = NH_4HSO_4 + 2HF.$$

Для приготовления полирующих смесей используют 40%-ную или 70%-ную плавиковую кислоту (плотность 1110–1140 кг/м^3) и 92–96%-ную серную кислоту (плотность примерно 1840 кг/м^3).

На заводах сортовой посуды применяют полирующие смеси, содержащие 1,3–12% HF и 50–65% H_2SO_4 и имеющие температуру 50–70°C. После полирования изделия ополаскивают в воде (t = 50–70°C) или 55–65%-ной H_2SO_4 с окончательным ополаскиванием в воде.

Для химического полирования изделий из свинцового хрусталя вместо плавиковой кислоты используют также фторид-бифторид аммония $NH_4F \cdot NH_4HF_2$, 58–62% H_2SO_4 и 2,5–3,5%F′ (с $NH_4F \cdot NH_4HF_2$). Остальное (до 100%) вода. Температура раствора 60–70°C. Промывка изделий в 55–60%-ной H_2SO_4 (t = 60–70°C) с окончательным ополаскиванием в воде.

Процесс химического полирования зависит от ряда факторов, основными из которых являются концентрация кислот, температура смеси, состав стекла, продолжительность контакта стекла с полирующей смесью, наличие механического перемешивания и добавок.

Соли, образующиеся в результате химических реакций, быстрее отлагаются в углублениях шлифованной поверхности, чем на ее выступах. В то же время газообразные продукты ускоряют их растворение. В результате действия этих факторов происходит выравнивание шлифованной поверхности.

Вследствие образования защитного слоя солей скорость полирования замедляется, поэтому для химического полирования характерны или кратковременные многократные погружения изделий в полирующую смесь с последующей промывкой, или однократный более длительный ее контакт с изделиями при интенсивном перемешивании смеси. В соответствии с этими технологическими схемами в отечественной промышленности получили распространение следующие способы химического полирования:

многоцикловой с промывкой изделий в воде и сернокислотном растворе;

одноцикловой с промывкой изделий в воде.

При многоцикловом способе полирования число циклов погружения в полирующую смесь и промывания зависит от размера и формы изделия, глубины граней рисунка, температуры и концентрации кислот в смеси.

При одноцикловом способе полирования в зависимости от изменения указанных факторов изменяется и время цикла.

При длительной обработке изделий полирующая способность растворов снижается, поэтому периодически проводят корректировку их состава (регенерацию).

Расход кислот зависит в основном от размеров полируемых изделий: при полировании крупных изделий – 220–250 кг на 1 т продукции. При полировании средних и мелких изделий расход кислот увеличивается соответственно на 20 и 50%.

Эффективность химического полирования изделий зависит от проведения технологического процесса. Целесообразно технологический процесс проводить так, чтобы, используя высокую производительность полирования при высоких концентрациях HF, исключить возможность коррозии поверхности изделий. Это возможно при последовательном полировании изделий в двух растворах: сначала с повышенным (10–12%) содержанием HF, а затем с пониженным (6% и ниже) содержанием HF.

Оборудование, которое в процессе химического полирования соприкасается непосредственно с растворами и парами полирующих смесей, изготовляют из кислото- и термостойких материалов. Лучшим материалом является фторопласт, можно также использовать полиэтилен, винипласт, дерево или другие материалы. Поверхность стеклянной измерительной аппаратуры для контроля процесса полирования защищают полиэтиленовой пленкой или поливинилхлоридным лаком.

В настоящее время применяют два типа установок для химического полирования изделий: с перемещением изделий к ваннам с полирующим и промывочным раствором и с подводом полирующих смесей и воды к изделиям (рис. VIII.41).

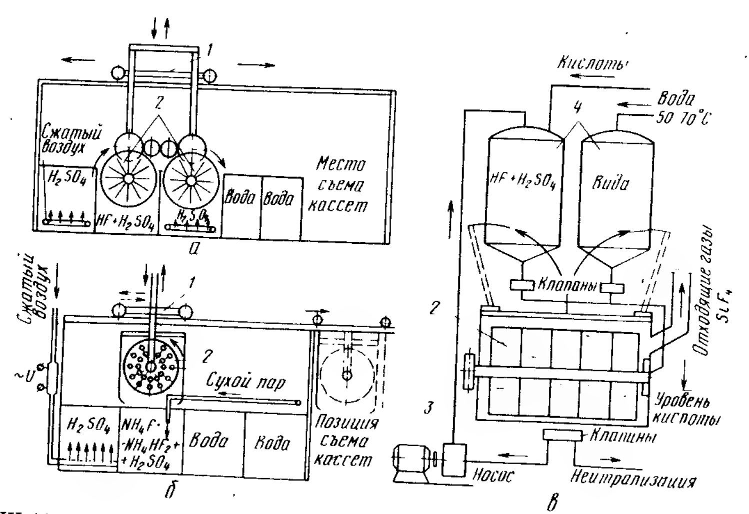


Рис. VIII.41. Схемы установок для химического полирования:
1 – механизм перемещения; *2* – вращающиеся кассеты; *3* – барабан; *4* – резервуары для смеси кислот и воды

Многоцикловые установки (рис. VIII.41, *а, б*) позволяют перемещать вращающиеся кассеты *2* с изделиями в вертикальном и горизонтальном направлениях с помощью механизма перемещения *1*. После полирования происходит промывка изделий в растворе H_2SO_4.

Двухкассетная установка имеет две ванны с H_2SO_4. Таким образом, в течение одного цикла в одной из кассет происходит полирование, в другой – промывка изделий. Такая конструкция установки позволяет повысить ее производительность.

В одноцикловой установке (рис. VIII.41, *в*) в барабан *3* с вращающейся кассетой *2* заливают из резервуаров *4* сначала полирующую смесь, а после окончания процесса – воду. Подача и слив кислот и воды осуществляется с помощью насоса и системы клапанов. Следует отметить, что во всех установках предусмотрено автоматическое управление режимом работы, подогревом рабочих растворов и воды.

Одним из направлений совершенствования процесса химического полирования на заводах является создание комплексов, состоящих как из технологических участков, так и участков нейтрализации и переработки отходов. В состав такого комплекса входят участки:

химического полирования с технологическими агрегатами для полирования, абсорбционными установками для обезвреживания отходящих газов, насосами, вентиляторами, резервуарами для кислот и воды;

нейтрализации с реакторами и оборудованием для приготовления известкового раствора;

обезвоживания осадка с отстойниками, фильтр-прессом и другим оборудованием;

хранения плавиковой и серной кислот, извести (склад).

Декоративное травление. Как правило, все способы декоративного травления предусматривают следующие операции: подготовку стекла (промывку и очистку), нанесение защитного покрытия, выполнение рисунка (если он не был уже нанесен на предыдущей операции), собственно травление, отмывку изделия от защитного покрытия и окончательную промывку. Рецепт травильного раствора зависит от химического состава стекла, вида изделия, фактуры поверхности, которую необходимо получить.

При **светлом** травлении стремятся получить в результате химических реакций растворимые соли. При этом после промывки рисунок получается гладким и блестящим. Так как соли, растворяясь, не защищают поверхность стекла, плавиковая кислота может разрушить его на большую глубину. Растворы, применяемые для светлого декоративного травления, по составу аналогичны растворам, применяемым для химического полирования.

При **матовом** травлении (матировании) эффект матовости травленого рисунка создают нерастворимые кристаллы солей, образующихся при взаимодействии плавиковой кислоты со стеклом. Фактура получаемой поверхности зависит от размера кристаллов, которые связаны с условиями образования. Так, при травлении в водном растворе плавиковой кислоты можно получить мелкие кристаллы. Если травильный

состав приготовлен в виде пасты, то образуются более крупные кристаллы солей.

Для нанесения несложных рисунков на изделиях массового производства используют пантографы и гильоширные машины. Травление (обычно светлое) производят в водном растворе, содержащем плавиковую и серную кислоты. При травлении высокохудожественных рисунков и портретов используют приемы росписи, травление осуществляют с помощью паст.

Для матирования можно применять растворы I и II.

I. Фторид аммония, г	125	II. Фторид аммония, г	250
Плавиковая кислота, мл	150	Серная кислота, мл	50
Вода, мл	250	Сульфат аммония, г	25
		Вода, мл	250

Имеются и другие рецепты матирующих растворов.

Во многих случаях матировать изделия удобнее не растворами, а пастами, которые могут быть жидкими или густыми, нерастекающимися. При использовании жидких паст участки поверхности стекла, которые должны остаться прозрачными, покрывают асфальтобитумным лаком.

Густую пасту получают из жидкой, добавляя в нее крахмал или криолит. В этом случае рисунок наносят на стекло кистью. Следовательно, защитный лак не нужен, а процесс упрощается.

При матировании стекла пастами поверхность получается более грубозернистой, чем при матировании растворами. Для получения более тонкой фактуры поверхности в пасты добавляют соли калия: KF, K_2CO_3, KCl, K_2SO_4. В качестве наполнителей паст можно применять сульфат бария, фторид кальция, декстрин, крахмал, казеин, муку.

Используется следующий рецепт травильной пасты: фторид аммония 10 г, 40%-ная плавиковая кислота 10 мл, сульфат бария 25 г.

Пастой протравливают полутоновые рисунки на накладном стекле. На участках поверхности стекла цветной слой протравливают на различную глубину, добиваясь на каждом участке необходимой интенсивности.

С помощью матирования фона можно добиться рельефности рисунка.

Декоративные покрытия на стеклоизделиях

Оксидно-металлические цветные покрытия. Такие покрытия получают при обработке изделий после формования растворами солей разных металлов. Для данного способа декорирования подбирают соли, легкорастворимые в воде или в некоторых нетоксичных неорганических и органических растворителях. На горячей поверхности стекла соли разлагаются и образуют тонкие пленки металлов, оксидов металлов или смеси металлов с оксидами. За счет этого поверхность стекла окрашивается в различные цвета.

Покрытия наносят на горячее стекло (температура около 600°С) после выработки (выдувания и прессования полых изделий, вытягивания или прокатки листового стекла) пистолетами-распылителями. Окончательно покрытие на стекле закрепляют в процессе отжига.

Фиолетовые и синие оттенки получают нанесением на изделия растворов хлоридов олова (IV) и сурьмы (III): 10–100 г реактива на 100 мл растворителя. Зеленые и оливковые оттенки дают соли хрома и кобальта, например $Cr(OCl)_2$, $Co(CH_3COO)_2 \cdot 4H_2O$. Наиболее устойчивую окраску дают хлориды железа – $FeCl_3 \cdot 6H_2O$. Для получения желтых и оранжевых цветов необходимо взять 10–40 г $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ на 100 мл растворителя. В качестве растворителей обычно применяют воду и спирт, при образовании осадка добавляют HCl.

Оксидно-металлические покрытия на стекле можно получить возгонкой твердых солей, в результате чего на поверхности образуется тонкая радужная плёнка. Этот способ обработки называется **иризацией** (от гр. iris – радуга). Для получения иризирующего эффекта стекло должно иметь температуру, близкую к температуре размягчения. Реже применяют низкотемпературную иризацию (около 220°С).

Для иризации изделий чаще всего используют легковозгоняющиеся соли олова, висмута, титана, бария, стронция, которые при нагревании превращаются в пар без плавления. На поверхности стекла происходит сублимация, т.е. осаждение твердого вещества из пара. Соли, как правило, разлагаются с образованием тонкой оксидно-металлической пленки, отливающей всеми цветами радуги.

Эффект иризации обусловлен интерференцией света. Интерферируют лучи света, отражающиеся от обеих поверхностей пленки. Луч белого света, как известно, состоит из нескольких цветных лучей с различными длинами волн. При определенных условиях цветовые волны лучей, отражающихся от обеих поверхностей, складываются: одни цветовые волны усиливаются, а другие ослабляются. В зависимости от этого в отраженных лучах будет преобладать какой-либо цветовой оттенок.

Наибольшей способностью давать иризирующие пленки обладает хлорид олова (II). Для получения различных оттенков к нему добавляют и другие соли. В табл. VIII.9 приводятся рецепты иризирующих смесей.

Таблица VIII.9. Составы иризирующих смесей

Компонент	Смесь			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Хлорид олова $SnCl_2$	80	88	54	57
Нитрат стронция $Sr(NO_3)_2$	5	7	23	19
Хлорид бария $BaCl_2$	15	5	17	19
Ацетат свинца $Pb(CH_3COO)_2$	–	–	6	5

Применяют следующие способы иризации: гутный – обработка изделий после изготовления, вакуумный – обработка стеклоизделий в вакууме. При вакуумном способе, в основном применяемом для декорирования стеклянной бижутерии, елочных украшений, обычно возгоняются или испаряются металлы и оксиды металлов.

Покрытия золотом и люстровыми красками. Украшение золотом значительно повышает художественную ценность изделий, позволяет

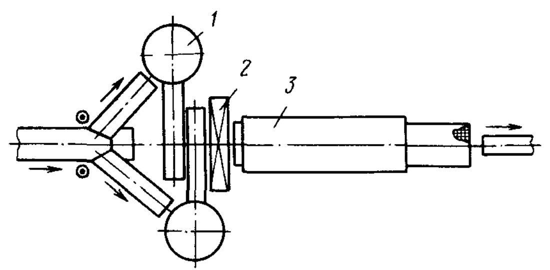


Рис. VIII.42. Схема технологической линии для декорирования изделия препаратом золота:
1 – полуавтоматы; *2* – переставитель; *3* – печь обжига

в сочетании с другими видами обработки создавать красивую и недорогую посуду. После нанесения 12%-ного препарата жидкого золота на стекло и обжига образуется тончайшая пленка металлического золота, прочно соединенная со стеклом. Препарат жидкого золота на изделия можно наносить вручную и на машинах.

Вручную препарат жидкого золота на изделия наносят на вращающихся турникетках, закрепленных на рабочих столах, расположенных по обеим сторонам движущейся ленты конвейера. Каждое изделие центрируется мастером на турникетке.

Механизированное нанесение применяется для изделий массового выпуска, в основном стаканов. В последнее время разработаны полуавтоматы для нанесения препарата золота на изделия на ножке (рис. VIII.42).

Чтобы пленка золота хорошо закрепилась на поверхности, изделия необходимо обжигать при температуре, близкой к температуре размягчения стекла. Большинство изделий, декорированных золотом, обжигают в туннельных муфельных печах с электрическими нагревателями.

При движении конвейера изделия находятся в печи обжига 45–60 мин. По мере движения конвейера температура в зоне подсушки повышается с 60–70 до 300–350°С. В этой зоне выгорают органические вещества, содержащиеся в препарате золота (скипидар, эфирные масла, асфальтовый лак и др.). После зоны подсушки изделия конвейером передвигаются в зону обжига с температурой 580–630°С. Переход из зоны сравнительно низких температур в зону высоких обеспечивает плавное размягчение поверхности стенок изделий, металлическое золото вплавляется в стекло. Так как стекло не успевает прогреться по всей толщине до температуры размягчения, изделие не деформируется. Выдержка изделий в зоне обжига (5–10 мин) зависит от ассортимента.

Получающаяся после обжига пленка блестящего золота имеет толщину (0,2–1,2) 10^{-4} мм. Украшать блестящим золотом можно изделия из стекла любого состава и лишь те участки изделия, которые не подвергаются интенсивному истиранию. Иногда золото наносят в углубления рисунка, например в тонкие канавки, прорезанные абразивными кругами или протравленные по рисунку, нанесенному пантографом или гильоширной машиной. При нанесении препарата жидкого золота на матовую поверхность рисунка, предварительно протравленную плавиковой кислотой, получается так называемое чеканное золото.

Люстровые краски представляют собой растворы смолянокислых солей тяжелых металлов в органических растворителях. После нанесения их на стекло и обжига образуется тончайшая цветная пленка оксидов указанных металлов. Она отливает металлическим блеском в отраженном свете.

Металлы, являющиеся (в виде оксидов) красителями стекла,– железо, кобальт, медь, хром, никель, применяют для получения цветных люстровых красок. Бесцветные люстровые краски, которые иногда называют перламутровыми, можно смешивать с цветными. Основными бесцветными люстровыми красками являются висмутовая, титановая, цинковая и оловянная.

Как правило, во все люстровые краски добавляют 30% висмутовой для усиления сцепления пленки со стеклом. Свинцовая люстровая краска усиливает металлический блеск пленки в отраженном свете. Цинковая и оловянная люстровые краски часто служат разбавителями препарата жидкого золота и для получения пурпурных и фиолетовых пленок с золотым отливом. Люстровые краски, приготовленные с применением соединений железа и марганца, дают пленки коричневых оттенков. Оттенки пленок можно разнообразить, смешивая различные люстровые краски. Консистенция люстровых красок должна обеспечивать равномерное покрытие поверхности стекла. Наименее густую консистенцию красок используют при нанесения их на изделия распылением, наиболее густую – при шелкотрафаретной печати.

Изделия, декорированные люстровыми красками, обжигают в туннельных муфельных электрических печах при температуре, близкой к температуре размягчения стекла (530–600°С). Печи должны быть снабжены вентиляцией, удаляющей продукты выгорания растворителей.

Если на подсохшую люстровую краску нанести прозрачный клеевой раствор, то можно получить узор в виде трещинок или мраморовидных прожилок. Происходит это за счет стягивающего действия клея. Обжиг изделий придает контраст получаемому узору за счет цвета люстрового покрытия.

Люстровые краски обычно наносят на изделия массового производства или бижутерию. Иногда люстровые покрытия применяют в комбинации с другими видами обработки (алмазной резьбой, гравированием, силикатными красками).

Покрытия и рисунки силикатными красками. Силикатные краски представляют собой тонкомолотые легкоплавкие цветные стекла. Температура растекания их при обжиге на изделиях составляет около 550°С, что соответствует температуре начала размягчения стекла. При обжиге изделия, расписанного силикатными красками, они приплавляются к поверхности стекла, образуя прозрачные или непрозрачные цветные покрытия, соответственно различают прозрачные и непрозрачные силикатные краски. Последние обычно называют эмалями. Полупрозрачные краски занимают промежуточное положение.

Краски для стекла состоят из флюса и красителя. Если материалы, образующие флюс, были сплавлены вместе с красителями, то получается

прозрачная краска, так как краситель растворяется в бесцветном стекле. Когда бесцветный флюс плавят отдельно, а потом размалывают вместе с пигментом, получают змали. В качестве пигментов служат окрашивающие оксиды или прокаленные при высокой температуре смеси окрашивающих оксидов с неокрашивающими, которые обеспечивают стабильность окраски.

Характер растекания краски по стеклу главным образом определяется свойствами флюса: флюс не должет быть сильно текучим, так как тогда краска при обжиге будет стекать с вертикальных стенок изделий, он не должен разрушаться при температуре обжига. В качестве флюса может служить боросиликат свинца $2PbO \cdot B_2O_3 \cdot SiO_2$, имеющий состав, %: SiO_2 10,42; B_2O_3 12,11; PbO 77,47.

Когда химическая устойчивость флюса, приготовленного на основе боросиликата свинца, недостаточна, добавляют другие оксиды. Химически устойчивые флюсы имеют следующий состав, %: PbO 40–67; SiO_2 7–35; B_2O_3 3–17; CaO 0–6; ZnO 0–5; Al_2O_3 0–8; TiO_2 0–10; Na_2O 0–5; K_2O 0,3–5.

Для получения змалей предварительно сплавленный флюс размалывают в шаровой мельнице вместе с пигментом. Краски после размола в шаровых мельницах обезвоживают на центрифуге, сушат в сушильном шкафу до постоянной массы и расфасовывают в пакеты, на которых должны быть обозначены технические характеристики красок. Краски должны быть просеяны сквозь сито, имеющее 10 000 отв./см^2, их остаточная влажность после 3 ч сушки при температуре 105°С не должна превышать 1,5%.

Цвет обезвоженной краски проверяют колориметром, а блеск – фотометром. Составы некоторых отечественных и зарубежных силикатных красок приведены в табл. VIII. 10.

Желательно, чтобы температура, при которои происходит растекание красок, была на 10–20°С ниже температуры размягчения стекла. Температурные коэффициенты линейного расширения обожженной краски

Таблица VIII.10. Составы силикатных красок

Цвет краски	Содержание оксидов, %											
	SiO_2	TiO_2	SnO_2	B_2O_3	Al_2O_3	PbO	ZnO	BaO	Na_2O	CdO	Co_2O_3	Cr_2O_3	CdS + +CdSe
Отечествеиные краски													
Белая	8	15	–	17,5	–	49	3	7,5	–	–	–	–	–
Синяя	7	–	–	14,5	8,5	67,5	–	–	–	–	2,5	–	–
Зеленая	7	–	–	14	–	67	–	2CaO	–	–	–	10	–
Желтая	32	7,5	–	12	1,5	39,5	2,5	–	4	1 CdS	–	–	–
Красная	7	–	–	16	–	57	5	–	–	–	–	–	15
Краски фирмы "Дегусса" (ФРГ)													
Белая	32	9,5	3	3	–	48	–	–	4,5	–	–	–	–
Сииняя	30	5,5	2,5	5	4	40	5	1,3	2,2	1,7	2,8	–	–
								K_2O		Li_2O			
Красная	27,6	3,3	–	3	2,5	45,6	–	–	4,5	8	–	–	5,5

и стекла могут отклоняться не более чем на 5%. При большем отклонении на поверхности появляются волосяные трещинки (цек) или слой краски отделяется от стекла в результате сильных механических напряжений между ними. Температурные коэффициенты линейного расширения краски и стекла можно рассчитать заранее.

Для многоцветного декорирования изделий в последнее время широко используют термопластичные силикатные краски, которые позволяют механизировать процесс. В состав красок вводят термопластичные связующие вещества, которые являются твердыми при комнатной температуре и разжижаются при 50–90°С. Связующие должны иметь определенную температуру плавления: давать возможность термопластичным краскам затвердевать за 1–2 с при соприкосновении с поверхностью изделий, иметь хорошую пластичность. Органические компоненты связующих при обжиге должны полностью удаляться до начала плавления краски.

Живописные работы и роспись изделий силикатными красками осуществляют обычно вручную кистями. Краски смешивают со связующими веществами, которые выбирают в соответствии со способом нанесения и регулируют их свойства путем добавления разбавителей.

Рисунки, нанесенные высокой змалью, отличаются от других рисунков как внешним видом, так и приемами выполнения. Если обычные силикатные краски после обжига более или менее стекловидны, то слой высокой змали только спекается. Это предотвращает растрескивание спая стекла и краски из-за различия температурных коэффициентов линейного расширения. Однако тугоплавкая краска сама по себе не дает прочного соединеиия со стеклом. Для обеспечения такого соединения на стекло сначала наносят грунт – более легкоплавкую краску. Толстый слой высокой змали наносят постепенно, чтобы часть разбавителей могла улетучиться перед нанесением очередного слоя. Готовый рисунок оставляют в течение суток высыхать на воздухе, чтобы при обжиге не происходило бурного испарения разбавителей, которое могло бы привести к разрушению всего слоя.

Аэрографией называется нанесение краски на изделия через трафареты с помощью сжатого воздуха. Аэрограф распыляет краску под давлением воздуха 0,2–0,5 МПа. Для ручных работ обычно используют пистолет-распылитель. Способ аэрографии очень удобен при сплошном окрашивании красками и эмалями прессованных и закаленных изделий. Более сложные рисунки, в том числе и многоцветные, наносят при последовательной смене трафаретов. Трафареты изготовляют из плотной бумаги, пластмассы или металлической фольги. Трафарет должен соответствовать форме изделия и плотно прилегать к его поверхности. Рабочее место при нанесении рисунков аэрографией должно оборудоваться вытяжной вентиляцией.

При **трафаретной печати** на стекле примеияют сетчатые трафареты, через которые краску пастообразной консистенции продавливают на изделия. Данный способ обычно служит для декорирования массовой продукции одно- и многоцветными (до 4–5 цветов) рисунками. Для печати

каждого цвета готовят отдельный трафарет. Сетчатый трафарет высокого качества выдерживает 30 000 отпечатков.

Для изготовления трафаретов используют сетки из искусственных волокон (капрона, нейлона) и металлические, имеющие 4000–16 000 отв./см^2. Чем мельче сетка, тем лучше качество получаемого рисунка. Трафарет получают фотографическим способом с использованием фоточувствительного покрытия.

Основой технологии декорирования изделий трафаретной печатью является то, что краска должна протекать сквозь трафарет под давлением специального приспособления – ракеля. При декорировании изделий горизонтально расположенный сетчатый трафарет плотно прижимают к находящемуся под ним стеклянному изделию с помощью ракеля. Если изделие имеет цилиндрическую конфигурацию, то оно вращается вокруг оси, параллельной плоскости сетчатого трафарета. Конические изделия вращаются вокруг горизонтальной оси, а сам трафарет поворачивается относительно конической поверхности изделия.

При многоцветной печати можно менять трафареты на одной печатающей установке или же пользоваться несколькими установками, последовательно печатая различные цвета.

Максимальная производительность ручных станков около 500 отпечатков в час. На ручных станках можно печатать экспериментальные и малосерийные рисунки. На полуавтоматических станках перемещение ракеля и трафарета, а также вращение изделия механизированы, однако съем и установка стеклянных изделий осуществляются вручную. Производительность таких станков 1000 отпечатков в час. Наконец, производительность полностью автоматических установок достигает 3000, а в отдельных случаях – 10 000 отпечатков в час.

В последнее время для многоцветного декорирования изделий массового производства применяют автоматические установки, состоящие из системы конвейеров, печатающих устройств, туннельной печи обжига и переставителей (рис. VIII.43).

Установленные на ленту конвейера изделия сортируются и транспортируются подающим конвейером *1* к автомату с тремя-четырьмя печатающими устройствами *2*. Автомат для трафаретной печати – это непрерывно работающая машина, т.е. непрерывно движутся трафареты и декорируются изделия. Движение осуществляется от главного привода *4*. Краску перед подачей на трафареты расплавляют с помощью электрического тока, подводимого к трафарету. На каждом трафарете устанавливают определенную силу тока для поддержания необходимой температуры краски.

Обработанные изделия устанавливают на поперечный ленточный конвейер *5*, с которого они с помощью переставителя *6* поступают на конвейер печи обжига *3*.

Декалькомания – это способ печатания рисунков на клеевой бумаге и переведения их на стеклянные изделия. Рисунки печатают красками или эмалями. Собственно **деколями** называют многокрасочные отпечатки, выполненные на бумаге, имеющей клеевой слой. При смачивании

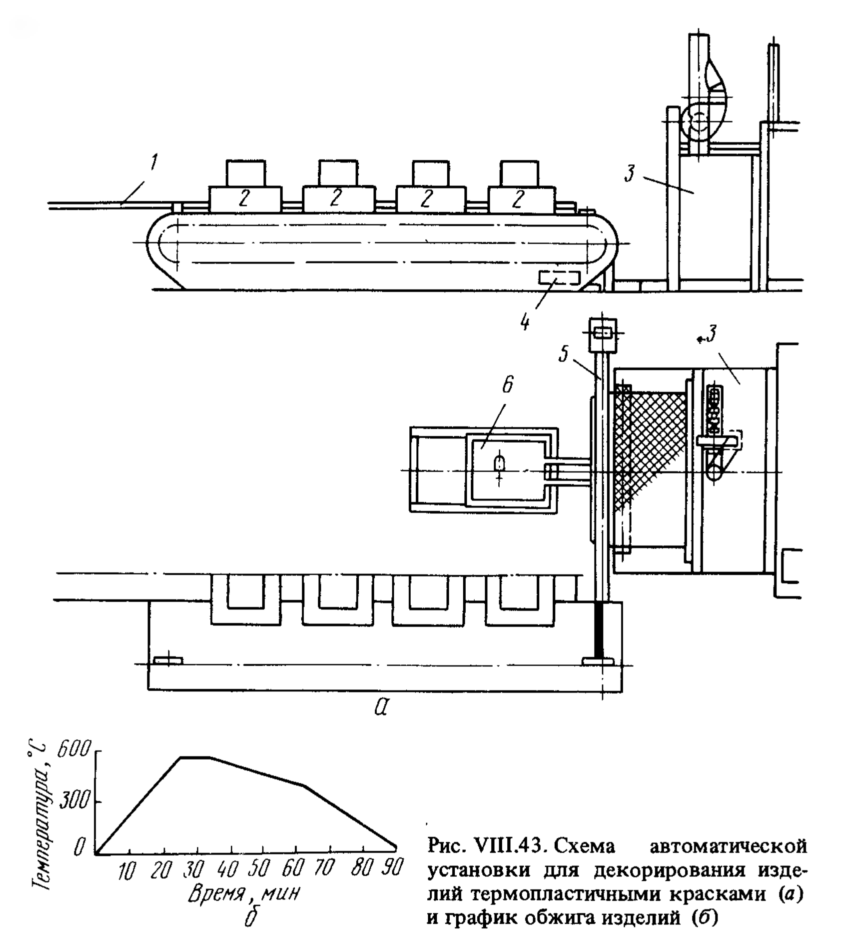


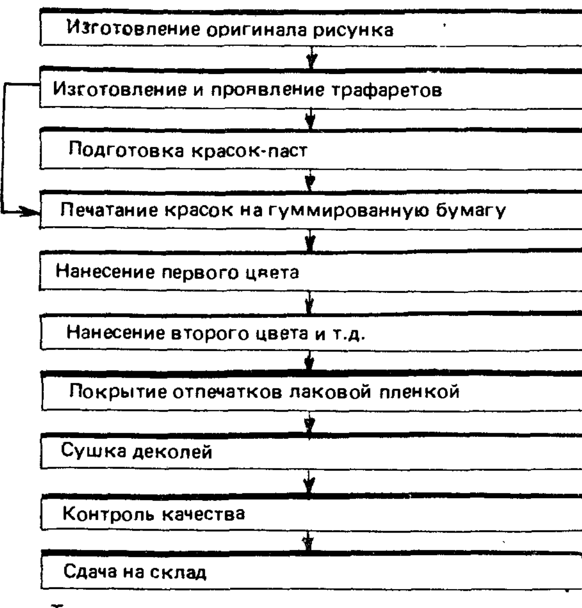
Рис. VIII.43. Схема автоматической установки для декорирования изделий термопластичными красками (*а*) и график обжига изделий (*б*)

деколей водой клеевой слой растворяется, а пленка с рисунком отделяется от бумажной основы и переводится на стекло.

Известны два вида деколей: простые и сдвижные. Изображение на простой деколи зеркально, краски печатают в обратной последовательности: сначала контур изображения, а затем фон. Сдвижная деколь отличается правильной последовательностью печати красок.

Организация изготовления деколей на стекольных заводах нецелесообразна, так как требует установки сложного оборудования для подготовки красок и печатания деколей, применения дефицитных материалов. Целесообразно централизованное производство деколей на специализированном предприятии и снабжение ими стекольных заводов.

Способ **фотопечати на стекле** основан на применении светочувствительной эмульсии хромированного декстрина, способной терять свою клейкость на свету пропорционально силе света. Стеклянная пластинка, покрытая тонким слоем светочувствительного раствора и после высушивания засвечивающаяся дневным или искусственным светом под диапо-



Технологическая схема изготовления многоцветных деколей

зитивом, теряет свою клейкость в освещенных местах. Неосвещенные части остаются клейкими.

Засвеченную пластинку запудривают силикатной краской, частицы которой задерживаются в липких местах в количестве, пропорциональном силе засвечивания.

Краску с изображением закрепляют слоем коллодия, затем пленку надрезают, отделяют и переносят на изделие. Изделие с перенесенной пленкой промывают 1%-ным раствором NaOH или KOH, а затем водой и сушат при комнатной температуре. Высушенные изделия с нанесенной пленкой дополнительно оформляет художник и их обжигают в муфельной печи при температуре 560–580°С. Обожженные изделия должны иметь хорошо оплавленную окраску, без искажений рисунка и каких-либо пороков.

Диффузионная окраска (протрава). Диффузионная окраска стекла позволяет получить яркие цвета: при использовании медной протравы — красный, при использовании серебряной — желтый. Диффузионная окраска основана на способности некоторых красителей диффундировать при нагревании в стекло и образовывать тонкий интенсивно окрашенный поверхностный слой.

Медную протраву готовят из чистой охры, раствора тростникового сахара или гуммиарабика, а в качестве красителя применяют оксид или сульфат меди. Окраску стеклу придает коллоидная металлическая медь.

Рекомендуется состав пасты из 65–70 мас. ч сульфата меди и 30–35 мас. ч. охры.

Первый обжиг при температуре 570–620°С проводят в окислительной среде. Затем пасту удаляют с поверхности изделия горячей водой. Частицы меди, диффундируя в поверхностный слой стекла, придают изделию молочно-желтую окраску. Второй обжиг вначале ведут в восстановительной среде, вводя в муфельную печь древесный или каменный уголь. В этот момент изделия окрашиваются в черный цвет. Третий и окончательный обжиг осуществляется в окислительной среде, поверхность изделия окрашивается в интенсивный красный цвет.

Серебряную протраву готовят в виде пасты из соединений серебра и наполнителя. Наполнителями служат тонко измельченные и просеянные шамот, охра и оксид железа.

Примерный состав пасты, применяемой для серебряной протравы, мас. ч.: измельченного и просеянного через сито (400 отв./см^2) шамота 3, хлорида серебра 1, растворенного в воде декстрина 1.

Обжиг ведут в восстановительной среде в присутствии сульфида железа или оксида железа (II) при температуре 540–570°С. После обжига пасту смывают горячей водой. Для получения различных оттенков желтого цвета вводят от 1/10 до 1/15 мас. ч. хлорида серебра на 1 мас. ч. наполнителя. Окраска высокого качества достигается на стеклах, содержащих K_2O, B_2O_3 и ZnO.

§ 7. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА, УПАКОВКА И ТРАНСПОРТИРОВКА СОРТОВОЙ ПОСУДЫ

Контроль качества сортовой посуды. В производстве сортовой посуды применяется в основном визуальная система контроля качества готовых изделий. Некоторые показатели качества — химическую стойкость и термостойкость, качество отжига, показатель преломления, пропускания — оценивают с помощью соответствующих методов и приборов.

Основанием для контроля качества сортовой посуды являются государственные стандарты и технические условия. По форме, вместимости, размерам, видам обработки, показателям внешнего вида, числу предметов в комплекте изделия должны соответствовать чертежам, образцам-эталонам, утвержденным в установленном порядке.

На заводах сортовую посуду изготовляют в два этапа: сначала вырабатывают изделия, являющиеся полуфабрикатами, затем их передают для предварительной обработки и декорирования.

Полуфабрикаты должны соответствовать требованиям государственного стандарта по ряду важнейших показателей: качеству отжига, показателю преломления, плотности, водостойкости, качеству края после отрезки колпачка. После обработки и декорирования изделия подвергают сплошному контролю на наличие пороков внешнего вида и рассортировывают, если требуется, по сортам. При обнаружении на изделиях малозначительных пороков, устранить которые технически возможно и экономически целесообразно, изделия возвращают на исправление (незначительные сколы, недоводки рисунка и т.п.). Если изделия не должны подвергаться дальнейшей обработке (например, изделия свободного формования), то их качество проверяют в цехе выработки.

Готовые изделия выборочно контролирует отдел технического контроля завода. Для проверки и испытаний изделий из разных мест партии делают выборку образцов одного вида и одинаковых по группам декорирования. У отобранных образцов проверяют показатели внешнего вида, вместимость и размеры, качество отжига.

Определенное число отобранных образцов закаленных изделий проверяют на механическую прочность и термостойкость. Стаканы для чая и минеральной воды, блюдца из натрий-кальций-силикатного стекла проверяют на термостойкость.

На выдувные изделия из натрий-кальций-силикатного стекла и хрусталя наклеивают марку, в которой указывают товарный знак завода-изготовителя, розничную цену, артикул, группу обработки, номер государственного стандарта, а для хрустальных изделий дополнительно сорт и содержание PbO. На прессованные и прессовыдувные изделия можно также приклеивать марку или в процессе выработки наносить товарный знак и розничную цену.

В связи с большим разнообразием способов выработки и обработки изделий число встречающихся пороков весьма велико. В табл. VIII.11 рассматриваются наиболее характерные для сортовой посуды пороки.

Упаковка и транспортировка готовых изделий. Упаковка должна обеспечить сохранность изделий при погрузочно-разгрузочных работах, транспортировке и хранении. Изделия упаковывают в картонную, фанерную и дощатую тару, допускается упаковка изделий в пакеты из упаковочной бумаги, а крупных и особо крупных изделий – в полиэтиленовые пакеты. При этом изделия предварительно заворачивают в бумагу и перекладывают стружкой или другими упаковочными материалами.

Стаканы можно упаковывать с применением полиэтиленовых амортизирующих прокладок, а также в коробки с картонными прокладками между рядами и заполнением свободных мест стружкой.

Комплект изделий упаковывают в одну коробку или один пакет. Сувенирные, подарочные и комплектные изделия упаковывают в специальные коробки без предварительной обертки в бумагу.

На каждый пакет или коробку наклеивают бумажную этикетку или ставят штамп с указанием: завода-изготовителя или товарного знака, наименования и артикула изделия, номера государственного стандарта, вида стекла, номера рисунка или группы обработки, числа изделий, номеров контролера и упаковщика, даты упаковки.

Особенно тщательно упаковывают изделия, отгружаемые в северные и отдаленные районы; правила упаковки предусматриваются соответствующей нормативной документацией.

Разрабатываются способы упаковки сортовых изделий, позволяющие механизировать ручной труд. Такие способы упаковки применимы к массовой продукции механизированного производства, особенно стаканам. Механизированные способы упаковки предусматривают применение ячейковых прокладок из плотного полиэтилена или картона, термоусадочной полиэтиленовой пленки, картонных коробок с ячейками и т.п.

Изделия должны транспортироваться в контейнерах, крытых очищенных железнодорожных вагонах, в крытом автотранспорте или другим

Таблица VIII.11. **Пороки выдувной и прессованной сортовой посуды и их причины**

Порок изделий	Причины порока
Пороки, возникающие при выработке	
Разная толщина дна и стенок сосуда	Распределение стекломассы неравномерное
Овальность	Удаление изделия из формы недостаточно охлажденным
Окалина	Попадание частиц железа из выдувных или наборных трубок
Осыпь края	Невысокое качество отрезки колпачка и дальнейшей обработки края
Морщины, рябая поверхность	Плохое качество изготовления формы, использование горячих форм, прилипание изделий к формам
Кованость поверхности	Применение холодных форм
Следы от ножниц	Соприкосновение холодного металла ножниц с горячей стекломассой
Царапины	Загрязнение формы твердыми частицами
Недопрессовка, толстое дно	Недостаточное прессующее усилие, холодная капля, малая ее масса, большая масса капли, кольцо неплотно садится в форму, плохо работает зажимное устройство, перегреваются и плохо смазаны формы, капля падает в форму не по центру, горячая длинная капля
Подпрессовка, швы, складки, посечки	Неоднородная стекломасса, холодная капля, сильное обдувание форм, большая толщина форм, неправильное охлаждение пуансона
Пороки, возникающие при обработке	
Косой край	Неправильное положение изделия при обработке
Качание пробки	Плохая притирка
Царапины на наружной боковой поверхности	Неправильное расположение изделия по отношению к шлифовальному кругу, неаккуратная транспортировка
Недополированный край	Плохая дистировка края изделий, низкое качество полирующего материала
Плохое качество оплавления края	Недостаточное или слишком длительное пребывание изделий в зоне оплавления
Несимметричность, переводки и недоводки резьбы рисунка	Неправильно подобран режущий профиль круга
Вспучивание, подтеки и выгорание красок, золота	Наличие на поверхности изделия частиц, пыли, жирных пятен, влаги, избыточное количество канифоли в краске, быстрый обжиг, высокая температура обжига
Растрескивание краски	Несоответствие температурных коэффициентов линейного расширения краски и стекла
Нарушение чистоты поверхности изделий при химическом полировании, наличие недополированных мест, пятна, полосы, царапины	Недостаточное количество серной кислоты, наличие на изделиях налетов жира, пыли, нарушение режима полирования

видом транспорта, обеспечивающим полную сохранность изделий и упаковки. Ряды коробок, пакетов, пачек и ящиков из гофрированного картона должны быть переложены упаковочным материалом. Промежутки между стенками и указанной упаковкой должны быть плотно забиты упаковочным материалом. Изделия должны храниться в закрытых помещениях, защищенных от действия атмосферных осадков.

Глава IX. ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В нашей стране большое внимание уделяется охране труда и окружающей среды. В период научно-технической революции вследствие интенсивного развития промышленности, в том числе и стекольной, эти вопросы приобретают особую актуальность.

§ 1. ОХРАНА ТРУДА

Основные положения по охране труда закреплены в Конституции СССР, Кодексе законов о труде (КЗОТ) и различных постановлениях. Техника безопасности предусматривает меры безопасности при проведении работ, улучшение технологических процессов производства и внедрение новой техники. Производственная санитария обеспечивает создание здоровых условий труда.

Улучшение охраны труда должно проводиться на основе достижений науки и техники. Для надзора за условиями работы создаются государственные специализированные организации. Так, надзор за соблюдением требований производственной санитарии осуществляет Всесоюзная государственная санитарная инспекция при Министерстве здравоохранения СССР, в ведении которой находится сеть местных санитарных организаций.

Наряду с государственным контролем на предприятиях имеется общественный контроль, который проводят первичные профсоюзные организации. Общественный контроль должен следить за выполнением администрацией законов о труде, соблюдением норм и условий техники безопасности и производственной санитарии. Ежегодно на каждом предприятии выделяются средства на мероприятия по охране труда: предупреждению несчастных случаев, заболеваний и улучшению условий труда.

Мероприятия по предупреждению несчастных случаев включают модернизацию оборудования; устройство защитных приспособлений, блокировок, светозвуковой сигнализации; автоматизацию оборудования; перепланировку расстановки оборудования для повышения безопасности труда; приобретение и использование приборов контроля опасных воздействий (статического электричества, сопротивления изоляции, взрывоопасной, газонасыщенной среды и т.п.); установку средств дистанционного контроля за технологическими процессами, подъемными и транспортирующими устройствами; механизацию производственных процессов; приведение в соответствие с правилами безопасности производственных коммуникаций; устройство безопасных переходов.

Мероприятия по предупреждению заболеваний на производстве должны защищать рабочих от производственных вредностей. Мероприятия направлены на герметизацию оборудования, устройство вентиляционных систем, тепловоздушных завес, защитных экранов; автоматический контроль за состоянием воздушной среды; локализацию и снижение уровня производственного шума, вибрации и т.д.

Мероприятия по улучшению условий труда включают рационализацию естественного и искусственного освещения; реконструкцию и переоборудование санитарно-бытовых помещений и устройств; утепление полов и переходов от санитарно-бытовых помещений к производственным; устройство мест отдыха для работающих в цехах с вредными условиями труда; монтаж сатураторных и других установок для обеспечения рабочих газированной водой, чаем, белково-витаминными и другими напитками; оборудование кабинетов и уголков по технике безопасности и производственной санитарии; создание условий для проведения производственной гимнастики.

Кроме технического обеспечения безопасной работы большое значение имеет инструктаж работников.

Для проведения инструктажа наряду с другими материалами должны быть использованы утвержденные главным инженером предприятия инструкции по технике безопасности на все выполняемые работы. Ни один технологический процесс или работа не должны производиться без утвержденной инструкции по технике безопасности.

Правила безопасной работы должны предусматривать как специфические условия работы на данном участке, так и общие положения, относящиеся к тому или иному агрегату. Так, для составных цехов специфическими условиями являются пылевыделения, а общими – условия обслуживания конкретного оборудования (например, сушильного, дробильно-размольного и т.п.). Для процессов стекловарения и выработки характерными являются высокие температуры, работа с расплавом стекла, что должно быть отражено в инструкциях по технике безопасности. При обработке стеклоизделий шлифовальными кругами необходимо учитывать наличие вибрации круга, обилие воды, пылевыделения. К общим условиям относится работа на электрооборудовании с вращающимися деталями.

Общее руководство работой по технике безопасности и производственной санитарии, ответственность за соблюдение соответствующих законов, положений, правил и норм в целом по предприятию возлагаются на директора и главного инженера предприятия.

Ответственность за состояние техники безопасности и производственной санитарии в цехах, мастерских, лабораториях несут руководители подразделения (начальники цехов, участков, лабораторий, мастера и т.д.).

Рабочие должны периодически в установленные сроки проходить повторный инструктаж по технике безопасности.

Гигиена труда и оздоровительные мероприятия предусматривают изучение трудовых процессов и производственной среды с точки зрения их воздействия на организм человека. На основе этого вырабатываются мероприятия по предупреждению и устранению вредных условий труда, укреплению здоровья работающих и повышению их работоспособности.

Большое внимание в последнее время уделяется снижению утомляемости человека. На производстве снижению утомляемости служит рациональная организация рабочих движений (хорошо обученный человек тратит меньше сил, а значит, меньше устает), рациональная организация режима труда и отдыха.

На современном производстве облегчают условия труда комплексная механизация и автоматизация производственных процессов, герметизация и теплоизоляция оборудования и аппаратуры, применение совершенного рабочего инструмента. Снижение уровня шума и вибрации, учет физиологических особенностей человека при организации рабочих мест оздоровляют условия труда.

Здания производственных цехов и санитарно-бытовые помещения должны отвечать установленным требованиям. Проектная норма на каждого работающего в производственном помещении составляет не менее 4 м^2 и не менее 13 м^3. Высота производственных помещений должна быть не менее 3,2 м. Помещения должны регулярно убираться. Для уборки мелкого мусора целесообразно применять промышленные пылесосы.

Росту производительности труда, снижению зрительной и общей утомляемости способствует рациональная система освещения, которая должна соответствовать нормам, утвержденным для каждого вида работ.

Большую роль в оздоровлении условий труда играет вентиляция, которая должна работать непрерывно, обеспечивая необходимую температуру, влажность и очистку воздуха в рабочей зоне. Целям оздоровления условий труда и повышения работоспособности служит и производственная гимнастика. Период высокой и устойчивой работоспособности имеет разную продолжительность. Это зависит от характера работы и физического состояния рабочих. При труде большой напряженности и монотонности он короче, при труде умеренной интенсивности и большем разнообразии – длиннее. Утомляемость постепенно снижает работоспособность рабочих и производительность труда.

Физкультурная пауза в момент, предшествующий падению работоспособности, помогает сохранить достигнутый уровень работоспособности. Кроме того, в некоторых случаях полезно прибегать к гимнастике до начала работы.

Улучшению условий труда во многом способствует и промышленная эстетика.

§ 2. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Вследствие повышения интенсивности стекольного производства существует опасность загрязнения окружающей среды* пылью, газами и различными вредными веществами. Например, при интенсификации процессов варки стекла увеличивается количество оксидов азота, серы, свинца и других вредных компонентов в отходящих дымовых газах, при интенсификации процессов химического полирования изделий из хрусталя увеличивается количество выбросов фтористых соединений.

В нашей стране вопросам охраны здоровья трудящихся уделяется большое внимание. В 1980 г. принят закон об охране атмосферного воздуха. При проектировании и строительстве новых предприятий и реконструкции действующих производств обязательно предусматриваются эффективные мероприятия по охране окружающей среды.

Работы в области охраны окружающей среды можно подразделить следующим образом:

очистка и обезвреживание вредных технологических выбросов и отходов;
рациональное использование промышленных отходов;
разработка и внедрение рациональных технологических процессов.

Очистка и обезвреживание вредных технологических выбросов и отходов. Составные цехи стекольных заводов являются наиболее запыленными из-за неудовлетворительной конструкции и недостаточной герметичности применяемого оборудования, отсутствия укрытий, неэффективной аспирации, а также из-за слабой механизации процессов. На участках сушки и просева кварцевого песка (SiO_2) запыленность колеблется от 10 до 30 мг/м^3, иногда достигая 50–100 мг/м^3; основная масса частиц (65–80%) имеет размеры менее 5 мкм. Аналогичное положение наблюдается на участках дробления и смешивания компонентов, где кроме содержания силикатных частиц пыль характеризуется значительной щелочностью (до 20–25%).

Чтобы обеспечить эффективное обеспыливание составных цехов, кроме установки аспирационно-обеспыливающих и отопительно-вентиляционных систем необходимо полностью механизировать операции по подготовке материалов для составления шихты и разместить необходимое оборудование, обеспечив его герметизацию. Для обеспыливания воздуха и отходящих газов этих цехов используются двухступенчатые установки, состоящие из циклонов типа ЦН-11 с возвратом осажденной пыли в производственный процесс и мокрых пылеуловителей с последующим использованием раствора карбоната и сульфата натрия для увлажнения шихты. Шлам, получаемый при обеспыливании других агрегатов, направляется через шламовую насосную в отстойники.

Для мокрого обеспыливания выделений составных цехов может быть использован гидродинамический пылеуловитель (рис. IX.1), являющийся пенным однополочным аппаратом непрерывного действия с разгрузкой осажденных материалов в виде шлама или раствора. Запыленный газ или воздух поступает в корпус *1* пылеуловителя по патрубку *2*, проходит снизу вверх через горизонтальную газораспределительную решетку *3* и находящийся на ней слой пены. При этом увлажненные и утяжеленные частицы пыли осаждаются в бункер *4*, откуда в виде шлама или раствора стекают в разгрузочное устройство *5*, а очищенный от пыли газ проходит через каплеуловитель *7*, поступает в вентилятор и далее в атмосферу. Необходимая для образования пены и обеспечения работы пылеуловителя вода подается через патрубок *6*.

Схема обеспыливания аэрозолей при переработке сырьевых материалов, подвергающихся дроблению, сушке и просеву в составном цехе, приведена на рис. IX.2.

*Здесь и далее имеется в виду среда на рабочем месте и вне производства.

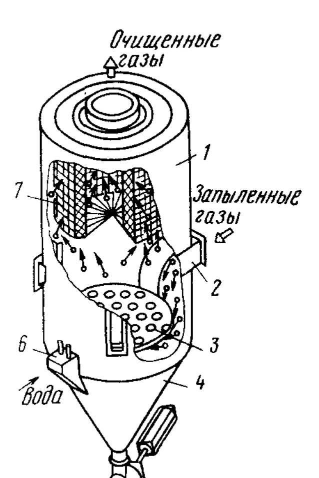


Рис. IX.1. Гидродинамический пылеуловитель

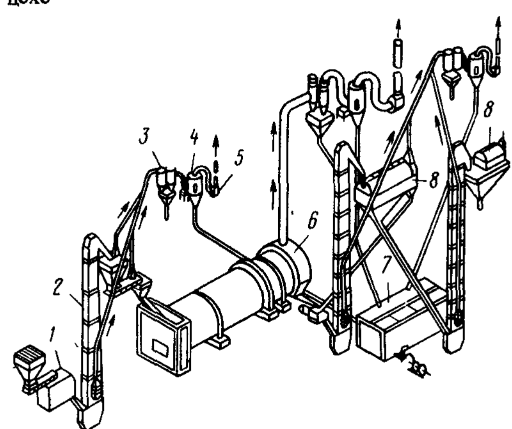


Рис. IX.2. Схема обеспыливания аэрозолей при переработке сырьевых материалов в составном цехе

Источниками пылевыделения являются дробилка *1*, элеватор *2*, сушильный барабан *6*, сита *8*. Это оборудование снабжено пылеотсосами и трубопроводами связано с двухступенчатыми обеспыливающими установками, состоящими из группы циклонов *3* и гидродинамического пылеуловителя *4*. Обеспыливанию подвергаются также отходящие от сушильного барабана дымовые газы. Очищенные от пыли воздух и дымовые газы вентилятором *5* выбрасываются в атмосферу, а образующийся в гидродинамических пылеуловителях шлам поступает в шламосборник *7*. Организация отдельной системы пылеулавливания на каждом участке обработки сырьевых материалов (песок, известняк, доломит, карбонат натрия и т.п.) позволяет использовать осажденные материалы в дальнейшем производственном процессе (шлам должен быть обезвожен и высушен).

Эта схема может изменяться применительно к конкретным технологическим условиям в соответствии с компоновкой и режимом работы пылевыделяющего оборудования.

При стекловарении наиболее важна очистка отходящих газов стекловаренных печей.

Отходящие газы стекловаренных печей, содержащие ценные и вместе с тем вредные компоненты (соединения фтора, бора, свинца и т.п.) в твердом и газообразном виде, до последнего времени выбрасывались в атмосферу без очистки. Трудность очистки этих газов связана с содержанием в них тонкодисперсных частиц при низком влагосодержании, а также со значительным колебанием количества отходящих газов и их температуры (200–700° С). Кроме того, для очистки от соединений серы необходима предварительная химическая обработка отходящих газов, обеспечивающая перевод этих соединений в твердое состояние с последующим осаждением. Для очистки отходящих газов стекловаренных печей используют сухой или мокрый способы. Иногда для обеспыливания отходящих газов применяют специальные электрофильтры.

Высокотемпературный пылеуловитель ПВТ (рис. IX.3) работает следующим образом. Подлежащие очистке газы через входной патрубок *9* поступают в камеру *8* объемно-испарительного охлаждения. Образовавшаяся паровоздушная смесь направляется в камеру *4* для окончательной очистки от пыли в высокотурбулентном слое пены, создаваемом над газораспределительной решеткой *3*. Очищенные от пыли газы освобождаются от капель воды в каплеотделителе *5* и через выходной патру-

9 — Зак. 1068

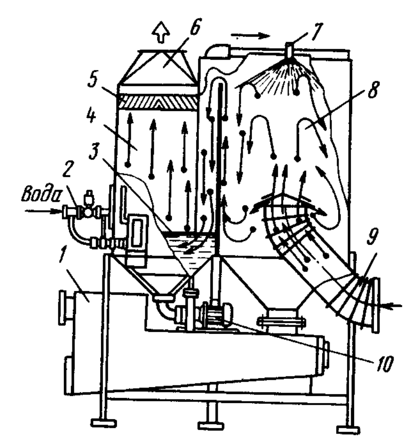


Рис. IX.3. Пылеуловитель ПВТ

бок *6* выбрасываются в атмосферу. Вода и уловленные частицы пыли из бункера камеры *4* подаются насосом *10* в форсунку *7*, которой они распыляются в объеме очищаемого газа. Образующийся шлам из бункера камеры *8* стекает в отстойник *1*. Для поддержания постоянного уровня пены в камере *4* служит водоподпитывающее устройство *2*. Работа всех узлов аппарата автоматизирована.

Каждая стекловаренная печь оснащается индивидуальным газоочистным оборудованием (рис. IX.4). В качестве побудителя тяги применяется вентилятор среднего давления. Образующийся при работе пылеуловителя шлам направляется в отстойник, а осветленная вода – в расходный резервуар для повторного использования.

Опыт эксплуатации пылеуловителей на заводах показал их высокую эффективность: степень очистки в среднем составляет 97–99%. После очистки концентрация пыли в дымовых газах стекловаренных печей не превышает нормируемых показателей.

При формовании стеклоизделий и работе стеклоформующего оборудования основной задачей является ликвидация загазованности рабочих мест продуктами испарения и разложения технологической смазки форм, что может быть достигнуто подбором рациональных составов смазки, установкой вентиляционных и отсасывающих систем.

Наряду с использованием эффективной очистной аппаратуры на стекольных заводах необходимо дальнейшее совершенствование технологических процессов и оборудования для сокращения пыле- и газовыделений.

Процессы обработки в производстве стеклоизделий, особенно в производстве сортовой посуды, разнообразны.

В производстве стеклянной тары к процессам обработки, связанным с выделением вредных веществ, относится нанесение защитно-упрочняющих оксидно-метал-

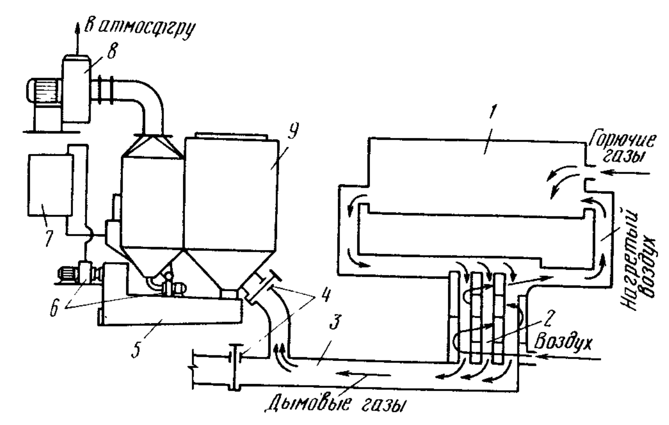


Рис. IX.4. Технологическая схема очистки отходящих газов стекловаренной печи: *1* – печь; *2* – рекуператор (регенератор); *3* – дымоход; *4* – шибер; *5* – отстойник; *6* – насос; *7* – резервуар повторного пользования; *8* – вентилятор; *9* – пылеуловитель ПВТ

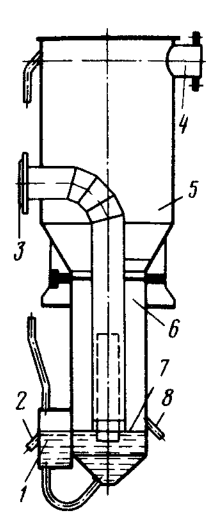


Рис. IX.5. Абсорбер для фтористых соединений

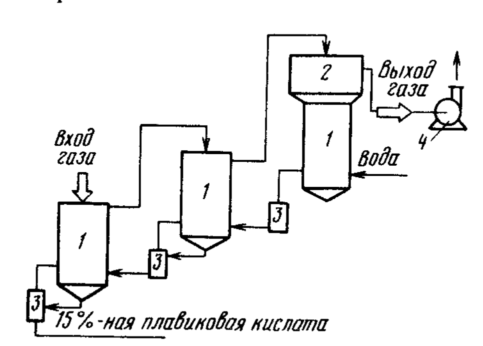


Рис. IX.6. Схема установки из трех абсорберов

лических покрытий на горячем конвейере. При этом незначительное количество вредных паров $SnCl_4$ и HCl успешно удаляется из рабочей зоны путем вытяжки от соответствующих установок.

В производстве сортовой посуды с образованием вредных выбросов и отходов связаны процессы декорирования изделий из хрусталя алмазным инструментом, силикатными красками, люстрами и препаратом золота, химического полирования. Высокая частота вращения алмазного инструмента приводит к запыленности рабочей зоны мельчайшими частицами сошлифованного стекла. Однако эти частицы довольно легко удаляются индивидуальной вытяжной вентиляцией, устанавливаемой на шлифовальных станках.

С помощью вытяжной и общеобменной вентиляции улучшаются условия труда при нанесении на изделия силикатных и люстровых красок, препарата золота.

Наибольшие трудности возникают при обезвреживании отходов и выбросов при химическом полировании стеклоизделий.

К газообразным продуктам, образующимся при химическом полировании, относятся пары HF и SiF_4. Установки для химического полирования должны снабжаться вытяжными устройствами, поддерживающими нормальные условия труда. Отсасываемый вентилятором воздух, содержащий пары фтористых соединений, должен пройти систему нейтрализующих устройств и фильтров.

В нашей стране известны установки по нейтрализации фтористых соединений, работа которых основана на поглощении и нейтрализации паров HF и SiF_4 в абсорберах (рис. IX.5). В основу работы абсорберов положен принцип абсорбции фтористых соединений пенным слоем с высокоразвитой поверхностью. Абсорбер состоит из корпуса *6* с входным *3* и выходным *4* патрубками, пенообразующей решетки *7*, каплеотделителя *5*, штуцеров для подачи свежей *2* и отработанной *8* воды, гидрозатвора *1*.

Для повышения эффективности очистки применяют систему из трех последовательно установленных абсорберов с одним каплеотделителем (рис. IX.6). Отсасываемый вентилятором от полирующих растворов воздух с парами фтористых соединений поступает в подрешеточное пространство абсорберов *1* и, вытеснив воду на решетку, контактирует со слоем образующейся пены. После поглощения паров воздух направляется в каплеотделитель *2* и вентилятором *4* выбрасывается в атмосферу. Вода, поглотившая пары фтористых соединений через гидрозатвор *3*, подается на нейтрализацию.

Обычно кислые стоки химического полирования нейтрализуются известковым молоком (раствором-суспензией гидроксида кальция). При этом протекают следующие реакции:

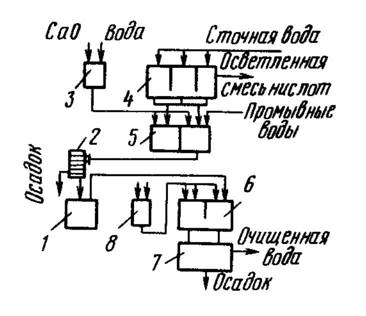


Рис. IX.7. Технологическая схема очистки сточных вод после химического полирования:
1 – резервуар для фильтрата; *2* – фильтр-пресс; *3* – резервуар для оксида кальция; *4* – отстойник кислоты; *5* – реактор первой стадии; *6* – реактор второй стадии; *7* – отстойник; *8* – резервуар для активной кремнекислоты

$$2HF + Ca(OH)_2 = CaF_2 + 2H_2O;$$
$$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 = CaSO_4 + 2H_2O.$$

Нейтрализация происходит в резервуарах с мешалками, из которых суспензия поступает в отстойники. Осветленная жидкость возвращается в систему для приготовления раствора-суспензии гидроксида кальция, а шлам поступает в сгуститель, потом вывозится в отвал. Однако эта технология недостаточно эффективна. НИПИОТСТРОМ разработал новый способ и создал оборудование для нейтрализации сточных вод после химического полирования. По более совершенной технологии сточные воды первоначально нейтрализуются известковым молоком до pH 10–11 (рис. IX.7). В результате удаляются растворимые соединения свинца и основная часть фтористых соединений. Далее суспензия поступает на фильтрацию с последующей доочисткой фильтрата активной кремнекислотой.

При двухстадийной нейтрализации кислых стоков наряду с раствором гидроксида кальция используется суперфосфат.

Рациональное использование промышленных отходов. В производстве стекла используют стекольный бой, металлургические шлаки, шлаки и золы тепловых электростанций и другие промышленные отходы.

Строительные и облицовочные изделия изготовляют из стеклокристаллических материалов на основе металлургических шлаков (шлакоситаллов). Металлургические шлаки можно также использовать в производстве стеклянной тары. Вопросы рационального использования шлаков в производстве зеленых и янтарных бутылок рассмотрены в гл. II и VII.

Важной для стеклотарного производства является проблема использования стекольного боя, образующегося на предприятиях пищевой промышленности и общественного питания. Известно, что ввод в расплав стекла до 60% боя позволяет получать изделия высокого качества. В связи с этим целесообразны централизованный сбор, обработка и сортировка стекольного боя с последующей доставкой его на стекольные заводы.

В ряде отраслей промышленности образуется значительное количество отходов, которые можно использовать в стекольной промышленности, в первую очередь в производстве стеклотары, облицовочных материалов и т.п. Так, литийсодержащие отходы химической промышленности могут быть использованы в производстве стеклянной тары как ускорители процессов варки и осветления, отработанный катализатор каучукового производства – как краситель при изготовлении зеленых бутылок и изделий из авантюринового стекла.

Целесообразно использовать отходы, образующиеся в производстве свинцового хрусталя, при шлифовании и полировании изделий. В связи с развитием очистки выбросов в стекольной промышленности могут быть возвращены в производство отходы составных и машинованных цехов.

Разработка и внедрение рациональных технологических процессов. Это наиболее перспективное направление развития производства, обеспечивающее эффективную охрану окружающей среды. В настоящее время на отечественных стекольных заводах производятся полная подготовка и обогащение основных сырьевых материалов,

что приводит к значительным пылевыделениям. Целесообразнее подготавливать и обогащать сырьевые материалы на централизованных базах. На стекольные заводы при этом будет поступать обогащенное сырье постоянного химического состава. Тогда на заводе вместо составного цеха должно быть организовано дозировочно-смесительное отделение и операции по составлению шихты можно легко автоматизировать. Соответственно уменьшится число единиц пылевыделяющего оборудования, будут созданы благоприятные условия для очистки выбросов и охраны окружающей среды.

При брикетировании и гранулировании шихты ускоряется провар и улучшается качество стекломассы, устраняются пыление шихты при загрузке и унос компонентов шихты с дымовыми газами. Кроме того, это позволяет готовить шихту на централизованных шихтовых базах и обеспечивать ею близлежащие стекольные заводы. Тогда на заводах отпадает необходимость в составных цехах, улучшается культура производства и охрана окружающей среды.

Для повышения эффективности производства и улучшения условий охраны окружающей среды следует интенсивнее осваивать новые способы приготовления стекольной шихты (например, гидротермальный), позволяющие комплексно перерабатывать минеральное сырье и значительно уменьшать вредные пылевыделения.

К числу рациональных технологических процессов можно отнести стекловарение с использованием электроэнергии. Электрическая варка в производстве изделий из свинцового хрусталя практически ликвидирует поступление в атмосферу оксидов азота, серы с дымовыми газами и резко сокращает улетучивание оксидов свинца, бора, фтора и других летучих компонентов, способствуя значительному улучшению условий труда. Частичное применение электроэнергии при варке (газоэлектрическая варка) позволяет сократить количество сжигаемого топлива, объем дымовых газов и вредных выбросов.

Глава X. ОСНОВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Для описания типовых технологических процессов, видов изделий и показателей качества существует система стандартов, структуру которых и порядок взаимодействия определяет стандартизация. Стандартизация устанавливает для всех отраслей народного хозяйства единые требования к качеству продукции, технологии, а также определяет порядок взаимодействия различных предприятий. Благодаря этому постоянно повышается технический уровень изделий, уменьшается время на изготовление продукции, сокращаются затраты топлива, энергии, материалов и т.д.

Организация работ по стандартизации в нашей стране определяется государственной системой стандартизации, введенной в действие с 1 января 1970 г. Целями стандартизации являются ускорение технического прогресса, повышение эффективности общественного производства, обеспечение условий для экспорта отечественных товаров, экономия материальных и трудовых ресурсов и т.д. Стандартизация предъявляет определенные требования к разработке технической документации, чертежей на продукцию, а также к процессу ее производства. Основной целью стандартизации в этой области является сокращение числа марок и типоразмеров продукции, применение типовых деталей и узлов, комплексная механизация и автоматизация технологических процессов и т.д.

Основным нормативно-техническим документом является стандарт, который предназначен концентрировать передовой промышленный опыт, достижения науки и техники для изготовления продукции, максимально удовлетворяющей требование потребителей.

§ 1. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ

В систему стандартизации входят общесоюзные органы службы стандартизации отраслей народного хозяйства и союзных республик. Руководство всеми работами по стандартизации осуществляет Государственный комитет стандартов СССР (Госстандарт СССР). Существует широкая сеть республиканских, межобластных и об-

ластных лабораторий государственного надзора, которые осуществляют функции Госстандарта СССР на местах. Кроме того, в последние годы расширена сеть головных и базовых организаций по стандартизации.

Государственная система стандартизации предусматривает четыре категории стандартов: государственные (ГОСТ), отраслевые (ОСТ), республиканские (РСТ), стандарты предприятий (СТП).

Государственные стандарты устанавливаются в основном на продукцию массового производства различных отраслей народного хозяйства, а также на нормы, правила и другую документацию.

Государственные стандарты обязательны для всех предприятий, организаций, отраслей народного хозяйства и союзных республик. Они утверждаются Госстандартом СССР. Особо важные государственные стандарты утверждает Совет Министров СССР.

Отраслевые стандарты устанавливают требования к продукции, не относящейся к объектам государственной стандартизации: к технологической оснастке, изделиям, к технологическим нормам и типовым отраслевым технологическим процессам. Отраслевые стандарты обязательны для предприятий и организаций отрасли, а также предприятий и организаций других отраслей, применяющих продукцию этой отрасли. Утверждаются отраслевые стандарты соответствующим министерством (ведомством).

Республиканские стандарты устанавливаются на продукцию, изготовляемую предприятиями союзных республик, за исключением продукции, относящейся к объектам государственной стандартизации. Объектами республиканской стандартизации являются сырье, материалы, топливо и полезные ископаемые внутриреспубликанского производства и применения. Республиканские стандарты обязательны для всех предприятий и организаций, находящихся на территории союзной республики, выпускающей и потребляющей данную продукцию. Утверждаются РСТ советами министров или госпланами союзных республик.

Стандарты предприятий распространяются на изготавливаемые на данном предприятии изделия, а также на нормы, правила и методы, применяемые только на нем. Дело в том, что одни и те же виды продукции могут изготовляться на разном оборудовании, поэтому на предприятиях, выпускающих одинаковую продукцию, технологические процессы могут различаться. В связи с этим разрабатываются стандарты предприятий, не нарушающие и не снижающие показателей качества и требований, установленных государственными отраслевыми и республиканскими стандартами. Таким образом, стандарты предприятий не распространяются на реализуемую продукцию. Они утверждаются руководством предприятия.

Требования к определенным видам продукции устанавливаются техническими условиями (ТУ). В них содержатся все требования к качеству изготовления, методам контроля качества, маркировке, упаковке, транспортировке и хранению данного вида продукции. Технические условия разрабатываются в том случае, если отсутствуют государственные стандарты на данный вид продукции, т.е. продукция до сих пор не выпускалась или освоено производство продукции повышенного качества по сравнению с требованиями государственного стандарта. Разработка технических условий на продукцию, качество которой предусмотрено государственными стандартами, не допускается. Технические условия утверждаются министерствами, исполкомами Советов народных депутатов на срок не более 5 лет.

Стекольная промышленность выпускает сотни видов изделий различного народнохозяйственного назначения. Многие из них потребляются другими отраслями народного хозяйства, например листовое стекло широко применяется для остекления зданий и салонов транспортных средств, цветное стекло – для изготовления светофильтров и сигнальных огней, стеклянная тара – для упаковки пищевых продуктов и т.д. Широк и ассортимент товаров народного потребления – это зеркала, хрустальная посуда, люстры и т.д. Чтобы облегчить процесс изготовления продукции, поступающее сырье и технология производства должны отвечать определенным требованиям.

Известно, что основным сырьем в производстве стекла является кварцевый песок. Свойства изделий в значительной степени зависят от количества посторонних примесей в песке, размеров зерен, влажности и других параметров. Так как песок добывается в разных карьерах с помощью различной техники, размеры его зерен, а также содержание примесей могут быть различными. Чтобы свести к минимуму указанные различия, улучшить качество стекла и облегчить технологию производства, в государственном стандарте на кварцевый песок указаны допустимые колебания его свойств, содержание примесей и т.п.

Технологические процессы изделий из стекла, даже одинаковых, на предприятиях могут существенно различаться в результате использования различного оборудования и видов топлива. Однако в любом случае эти различия не должны влиять на качество продукции и приводить к неоправданным потерям сырьевых и топливно-энергетических ресурсов. Поэтому на предприятиях введена система стандартов технологического процесса, которые устанавливают колебания основных параметров производства. Показатели качества продукции стекольной промышленности также устанавливаются системой государственных стандартов. Это значительно облегчает применение изделий из стекла в народном хозяйстве. Таким образом, в стекольном, как и в любом другом производстве, большое внимание уделяется комплексной системе стандартизации от исходного сырья до готовой продукции.

И наконец, в процессах производства стекла важное значение имеет применение стандартных методов определения качества продукции и стандартизированных методов измерения технологических параметров производства (температуры, давления и т.д.). Все используемые приборы должны удовлетворять определенным требованиям, главными из которых являются надежность работы и точность показаний.

§ 2. МЕТРОЛОГИЯ – ВАЖНЫЙ ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Метрология – наука об измерениях, методах достижения их единства и требуемой точности.

Состояние контрольно-измерительной техники и организации метрологической службы во многом определяют эффективность производства и качество продукции.

В настоящее время современное эффективное производство невозможно без высокоразвитой измерительной техники, без хорошо организованной метрологии.

Для достижения единства измерений (т.е. получения результатов, выраженных в установленных единицах, независимо от времени, места и средств измерений) должна производиться правильная градуировка и периодическая поверка всех применяемых средств измерений, для чего необходимы образцовые средства измерений. Метрология изучает способы воспроизведения единиц физических величин с помощью эталонов и аттестованных стандартных образцов, пути повышения точности этого воспроизведения, а также способы передачи размерности единиц (методы поверки).

Для эффективного использования средств метрологии процессы измерения и контроля включают в технологическую подготовку производства и планируют измерительную технику для каждого процесса.

Чтобы эффективно использовать измерительную технику, необходимо измерять параметры на основных участках производственного процесса, правильно выбирать и использовать измерительную технику, обучать работников регулярному контролю измерений.

Кроме того, важно одновременно с повышением уровня технологии развивать и совершенствовать методы измерения и контроля параметров на всех стадиях производства стеклотары и сортовой посуды (схема).

Из схемы видно, что измерения и их точность играют существенную роль в получении продукции высокого качества. Наиболее важен постоянный и точный контроль параметров процесса в стекловаренной печи (температуры, давления в печи, уровня стекломассы), в результате чего обеспечиваются необходимые производительность печи и качество стекла. На тех предприятиях, где точности измерений параметров не уделяется должного внимания, не обеспечивается стабильность технологического процесса и качества продукции, возможен выход из строя отдельных

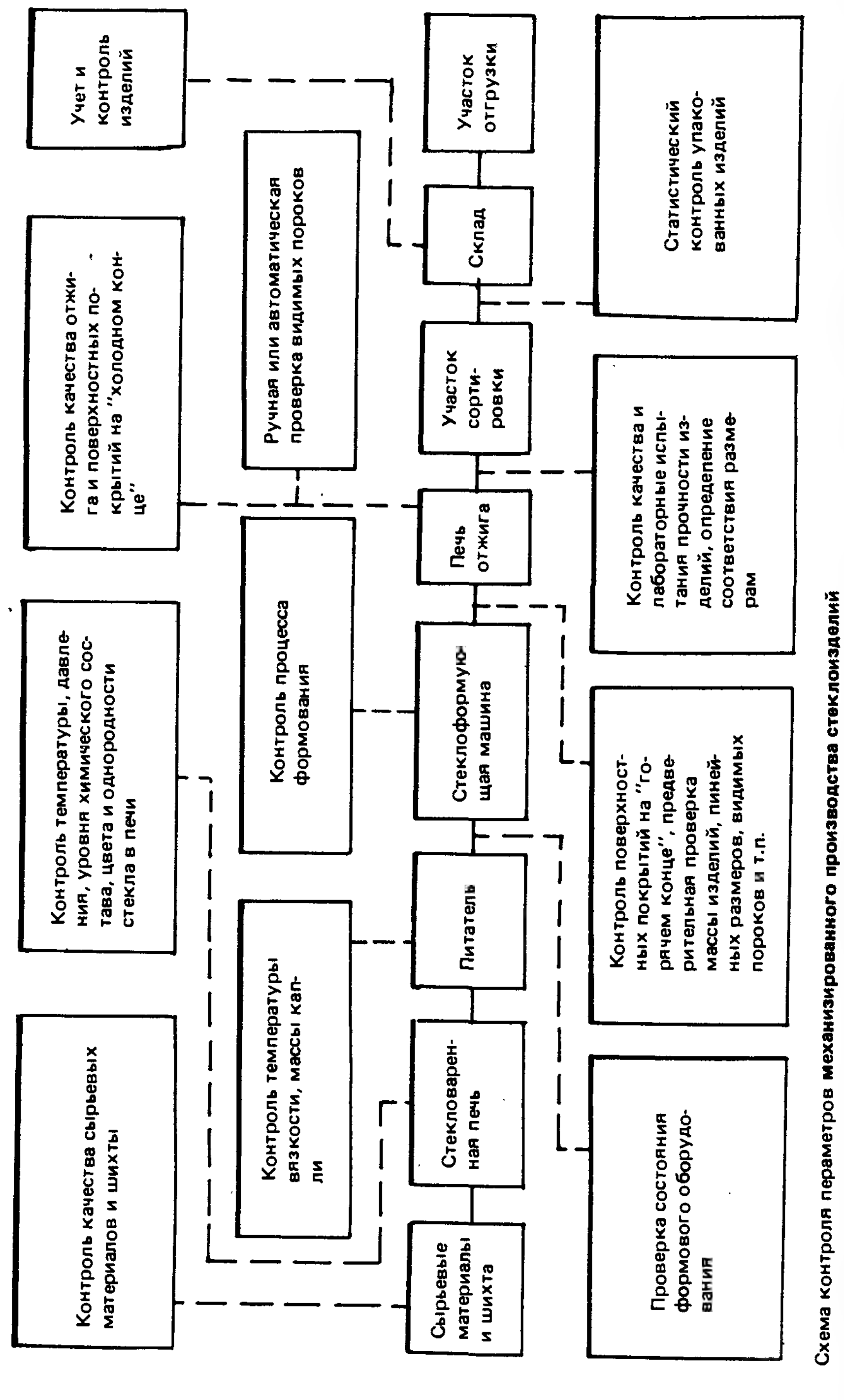


Схема контроля параметров **механизированного производства стеклоизделий**

узлов стекловаренной печи. Например, неправильный выбор места измерения температуры в печи, недостаточная точность измерений могут привести к тому, что качество стекломассы будет низким, а это в свою очередь повлияет на работу питателей и стеклоформующих машин. При повышении температуры могут выйти из строя влеты горелок и свод печи.

Плохая регулировка и недостаточная точность измерения колебаний уровня стекломассы ведут к нарушению режима питания печи шихтой и стекольным боем, появлению пороков стекломассы. Раньше на стекловаренных печах применялись поплавковые уровнемеры, которые не обеспечивали необходимой точности регулирования уровня стекломассы. В настоящее время используются более надежные и точные системы измерения и регулирования уровня: электроконтактные, пневматические, пьезометрические, радиоизотопные, оптические. Перспективными системами являются оптические, которыми можно измерять уровень расплава на большом расстоянии от кладки печи и, следовательно, от зои высокой температуры. Достоинствами оптических уровнемеров являются высокая чувствительность и малая инерционность. Их действие основано на измерении отклонения светового луча, направленного под углом к поверхности стекломассы.

Высокая точность поддержания температуры в питателе при механизированной выработке изделий обеспечивает стабильную работу стеклоформующего оборудования и минимальное количество брака.

От правильности измерения температуры в печах отжига зависит степень отжига изделий. При недостаточном отжиге резко снижаются эксплуатационные свойства изделий. Степень отжига периодически контролируется специальными приборами. Если раньше достаточно было качественной оценки напряжений в стеклоизделиях полярископами, то повышение требований к их эксплуатационной надежности поставило задачу количественного измерения напряжений поляриметрами.

Важное значение имеет контроль эксплуатационных параметров стеклянной тары (сопротивления внутреннему давлению и термостойкости). Соответствие контрольных приборов предъявляемым требованиям может привести к значительным потерям пищевых продуктов.

Для поддержания в хорошем состоянии контрольно-измерительной техники на стекольных заводах организуются подразделения контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА) и метрологическая служба. Основными задачами метрологической службы предприятия являются:

обеспечение единства и требуемой точности измерений, повышение уровня и совершенствование техники измерений, испытаний и контроля;

подготовка и совершенствование метрологического обеспечения производства;

определение оптимальной номенклатуры и планомерное внедрение средств и методов измерений, испытаний и контроля, отвечающих современным требованиям науки и производства и обеспечивающих поддержание заданных режимов технологических процессов, контроль качества продукции и повышение производительности труда, контроль соблюдения безопасных условий труда, точный учет и рациональное использование материальных и энергетических ресурсов.

Метрологическая служба предприятия проводит свою работу под методическим руководством базовой организации метрологической службы министерства (ведомства) и в тесном взаимодействии со службами стандартизации предприятия.

§ 3. ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ

На стекольных предприятиях организована контрольная служба, в обязанности которой входит контроль за правильностью ведения технологического процесса, качеством сырьевых материалов, полуфабрикатов и готовой продукции.

Контроль качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на стекольных заводах осуществляется центральной заводской лабораторией (ЦЗЛ) и отделом технического контроля (ОТК). В зависимости от размера предприятия в структуру центральной лаборатории или отдела технического контроля входят цеховые подразделения, контролирующие качество продукции по этапам технологической схемы.

ЦЗЛ контролирует поступающие на предприятие сырьевые материалы и полуфабрикаты, производит расчет параметров производственного процесса, контролирует качество готовой продукции для определения соответствия ее нормативной документации по определенным показателям. Центральная заводская лаборатория может выполнять научно-исследовательские работы, направленные на повышение качества готовой продукции, оказывает помощь производству в определении причин брака выпускаемой продукции, рассматривает все виды производственно-технической документации (СТП, ГОСТ, ТУ) и дает на них отзывы.

Структура и обязанности отдела технического контроля определяются в соответствии с типовыми положениями.

Основными задачами отдела технического контроля являются:

контроль качества продукции в основных и вспомогательных цехах;

контроль условий хранения готовой продукции, качества тары и упаковочных средств;

контроль за правильностью маркировки и погрузкой готовой продукции в контейнеры, железнодорожные вагоны и другие виды транспорта;

оформление сертификатов, паспортов, удостоверяющих качество принятой продукции и соответствие нормативной документации;

анализ и учет внутризаводского брака и пороков продукции;

учет претензий на несоответствие поставленной предприятием продукции требованиям государственных стандартов и технических условий;

составление отчетов о качестве продукции по утвержденной форме для представления в Центральное статистическое управление (ЦСУ) СССР;

участие в разработке мероприятий по улучшению качества готовой продукции;

выдача заключений и замечаний по проектам государственных стандартов и технических условий;

выборочный контроль качества продукции в цехах.

§ 4. ПЛАНИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

При планировании качества продукции используются единичные, комплексные и интегральный показатели.

К единичиым относятся показатели назначения, надежности, технологичности, унификации, эстетические и др. Единичный показатель качества характеризует только одно свойство продукции.

В производстве сортовой посуды – это эстетические показатели (для художественных изделий), термостойкость (для чайных стаканов), прочность (для закаленных изделий). В производстве стеклянной тары – это прочность (для бутылок шампанских, пивных, под напиток "Пепси-кола" и т.п.), термостойкость (для консервных банок), эстетические показатели (для парфюмерных флаконов).

Комплексные показатели качества характеризуют несколько (по меньшей мере два) свойств продукции. Например, затраты, связанные с разработкой, производством и эксплуатацией продукции. В производстве бутылок таким комплексным показателем может служить показатель прочности в сочетании с материалоемкостью, в производстве сортовой посуды – эстетические показатели в сочетании с трудоемкостью.

К интегральным показателям качества продукции относятся объем и удельный вес производства отдельных видов прогрессивной продукции в общем выпуске данной группы продукции, экономический эффект и дополнительные затраты, связанные с улучшением качества продукции.

Основной формой планирования повышения качества продукции являются пятилетние планы. В годовых планах уточняются задания, которые отражены в пятилетних.

Планирование качества продукции – комплексный процесс, охватывающий различные стороны хозяйственной деятельности, прежде всего техническое совершенствование производства, использование научно-технических достижений. В связи с этим в комплексный план управления качеством продукции включены самостоятельные разделы: мероприятия по повышению технического уровня предприятия и внедрению новой техники, план научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ.

Так, в комплексный план заводов сортовой посуды могут быть включены работы по освоению электрической варки хрусталя, совершенствованию процесса выработки изделий на ножке, химического и термического способов полирования изделий и т.п.

Одним из важных разделов комплексного плана управления качеством продукции является задание по повышению сортности и единичных показателей качества.

Комплексный план предусматривает задание по сокращению потерь от брака и мероприятия, исключающие или сокращающие брак.

Качество продукции зависит, как известно, от качества труда, профессиональной подготовки, поэтому в комплексном плане предусмотрено повышение квалификации работающих и распространение передового опыта.

Для увеличения выпуска продукции требуемого уровня качества в комплексном плане предусмотрено материальное и моральное поощреине работающих.

Составной частью комплексного плана управления качеством продукции является планирование работ по стандартизации, ежегодные планы государственного надзора и ведомственного контроля за качеством продукции. Цель этих планов – поставить преграду на пути реализации недоброкачественной продукции.

Таким образом, комплексный подход к планированию качества позволяет эффективно решать вопросы повышения качества выпускаемой продукции.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ СТЕКОЛ ПО ИХ ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ

Вязкость стекол, содержащих SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, рассчитывается по методу М.В. Охотина, согласно которому температуру t, соответствующую определенной вязкости, рассчитывают по формуле

$$t = ax + by + cz + d, \qquad (1.1)$$

где x – содержание Na_2O; y – содержание CaO + 3 MgO; z – содержание Al_2O_3; a, b, c, d – коэффициенты (табл. 1.1).

Таблица 1.1. **Коэффициенты формулы (1.1)**

Вязкость, Па·с	a	b	c	d
10^2	−22,87	−16,1	6,5	1700,4
10^3	−17,49	−9,95	5,9	1381,4
10^4	−15,37	−6,25	5	1194,27
$10^{5,5}$	−12,19	−2,19	4,58	980,72
10^6	−10,36	−1,18	4,35	910,96
10^7	−8,71	0,47	4,24	815,89
10^8	−2,05	2,3	3,6	656,75
10^9	−8,61	2,64	3,56	715,46
10^{10}	−7,99	3,34	3,39	669,41
10^{11}	−7,43	3,2	3,52	637,27
10^{12}	−6,14	3,15	3,78	598,03

Пример 1. Требуется определить температуру стекла состава, %: SiO_2 72, Na_2O 16, Al_2O_3 3, CaO 6, MgO 3 при вязкости 10^6 Па·с. Подставляя в формулу (1.1) вместо x, y и z содержание Na_2O, CaO + 3 MgO и Al_2O_3, а вместо a, b, c, d – эти коэффициенты при вязкости 10^6 Па·с из табл. 1.1, определяем температуру, соответствующую данной вязкости:

$$t = -10{,}36 \cdot 16 - 1{,}18\,(6 + 3) + 4{,}35 \cdot 3 + 910{,}96 = 747{,}4^\circ\,C.$$

При содержании в стекле больше или меньше 3% MgO расчет производится, как в примере 1, но с последующей поправкой на содержание MgO по табл. 1.2 (при вязкости 10^8 Па·с расчет при любом содержании MgO производится без поправок).

Таблица 1.2. **Температурные поправки при замене 1% CaO на 1% MgO**

Вязкость, Па·с	Изменение температуры, °C	Вязкость, Па·с	Изменение температуры, °C
10^2	9	10^8	0
10^3	6	10^9	−1
10^4	5	10^{10}	−2
$10^{5,5}$	3,5	10^{11}	−3
10^6	2,6	10^{12}	−4
10^7	1,4		

Пример 2. Требуется определить температуру стекла, в состав которого входят, %: SiO_2 73, Na_2O 15, Al_2O_3 2, CaO, MgO 1 при вязкости 10^7 Па·с. Содержание в стекле CaO + MgO = 10%. Определяем температуру по формуле (1.1) для стекла, содержащего 7% CaO и 3% MgO (CaO + MgO = 10%):

$$t = -8{,}71 \cdot 15 + 0{,}47 \cdot 10 + 4{,}24 \cdot 2 + 815{,}89 = 698{,}60^\circ\,C.$$

Затем для стекла, содержащего 9% CaO и 1% MgO, вводим поправку по табл. 1.2, замещая 2% MgO на 2% CaO. Это дает понижение температуры: $-1{,}4 \cdot 2 = -2{,}8^\circ$ C.

Следовательно, $t = 698{,}6 - 2{,}8 = 695{,}8^\circ$ C.

Пример 3. Требуется определить температуру стекла, в состав которого входят, %: SiO_2 74, Na_2O 14, Al_2O_3 1, CaO 7, MgO 4, при вязкости 10^9 Па·с. Определяем температуру по формуле (1.1) для стекла, содержащего 8% CaO и 3% MgO (CaO + MgO = = 11%):

$$t = -8{,}16 \cdot 14 + 2{,}64 \cdot 11 + 3{,}56 \cdot 1 + 715{,}46 = 627{,}5^\circ\,C.$$

Затем для стекла, содержащего 7% CaO и 4% MgO, вводим поправку (см. табл. 1.2), замещая 1% CaO на 1% MgO, что дает понижение температуры: $-1 \cdot 1 = -1^\circ$ C.

Следовательно, $t = 627{,}5 - 1 = 626{,}5^\circ$ C.

Поверхностное натяжение, Дж/м², при температурах, превышающих 900° C, определяется по формуле Дитцеля:

$$\sigma = [\Sigma P_i \sigma_i - (t - 900)\,0{,}04]\,10^{-3},$$

где P_i – содержание оксидов в стекле, %; σ_i – парциальный множитель (табл. 1.3).

Таблица 1.3. **Парциальные множители для оксидов, входящих в состав стекла**

Оксид	SiO_2	Al_2O_3	B_2O_3	MgO	CaO	BaO	PbO	ZnO	Li_2O
σ_i	3,4	6,2	0,8	6,6	4,8	3,7	1,2	4,7	4,6

Продолжение

Оксид	Na_2O	K_2O	TiO_2	V_2O_5	CaF_2	Fe_2O_3	CoO	NiO	MnO
σ_i	1,5	6,6	3	−6,1	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Удельную электрическую проводимость, $Ом^{-1} \cdot м^{-1}$ (удельное электрическое сопротивление натрий-кальций-силикатных стекол), рассчитывают по формуле К.А. Костаняна:

$$\lg\chi = \left(1{,}508 - 0{,}0204N - \frac{4836 - 128N}{T}\right) 10^{-2}.$$

Удельное электрическое сопротивление $\rho_э = 1/\chi$ ($\lg\rho_э = -\lg\chi$), где N – содержание Na_2O, %; T – абсолютная температура, К.

Формула справедлива для стекол с содержанием Na_2O от 10 до 20% в температурном интервале 1100–1400°С (1373–1673 К).

Расчет показателей свойств твердых стекол в основном производится по методу аддитивности (слагаемости):

$$M = P_1K_1 + P_2K_2 + \ldots + P_nK_n, \quad (1.2)$$

где M – показатель свойства; $P_1, P_2, \ldots, P_n$ – содержание оксидов в стекле, %; $K_1, K_2, \ldots, K_n$ – коэффициенты, характеризующие влияние оксида на рассчитываемый показатель (табличные данные).

При расчетах прочности стекол следует помнить, что прочность стекол одного и того же состава изменяется при изменении скорости нагружения, формы или размеров образца, состояния поверхности и других условий.

Коэффициенты K взяты из справочного пособия: М.А. Матвеев, Г.М. Матвеев, Б.Н. Френкель. Расчеты по химии и технологии стекла. М., Стройиздат, 1972.

Расчет плотности, кг/м³, производится по формуле

$$\rho = \frac{10^5}{\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{P_2}{\rho_2} + \ldots + \frac{P_n}{\rho_n}},$$

где $P_1, P_2, \ldots, P_n$ – содержание оксидов в стекле, %; $\rho_1, \rho_2, \ldots, \rho_n$ – коэффициенты (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Коэффициенты плотности для оксидов, входящих в состав стекла

Оксид	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	ZnO	BaO	PbO	B_2O_3	Al_2O_3	As_2O_3	Sb_2O_3	SiO_2
ρ	3,2	3,2	3,25	4,3	5,94	7,2	10,3	2,9	2,75	3,33	3	2,24

Теплоемкость, кДж/(кг·°С), рассчитывают по аддитивной формуле (1.2) и результат делят на 100 (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Коэффициенты теплоемкости для оксидов, входящих в состав стекла

Оксид	SiO_2	B_2O_3	As_2O_3	P_2O_5	Al_2O_3	Na_2O	K_2O
K	0,8015	0,4520	0,5346	0,7969	0,8690	1,1204	0,7793

Продолжение

Оксид	Li_2O	CaO	BaO	MgO	PbO	ZnO
K	2,3032	0,7973	0,2820	1,0219	0,2145	0,5229

Теплопроводность, Вт/(м·°С), рассчитывают по аддитивной формуле (1.2) и результат делят на 1000 (табл. 1.6).

Таблица 1.6. Коэффициенты теплопроводности для оксидов, входящих в состав стекла

Оксид	SiO_2	B_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	BaO	MgO
K	8,7	15,1	12,8	5,8	11,6	3,14	13,4

Продолжение

Оксид	PbO	ZnO	Al_2O_3	S_2O_3	Sb_2O_3
K	5,3	7	10,7	7	6,5

Температурный коэффициент линейного расширения рассчитывают по аддитивной формуле (1.2) и результат делят на 10^7 или умножают на 10^{-7} (табл. 1.7).

Таблица 1.7. Коэффициенты ТКЛР для оксидов, входящих в состав стекла

Оксид	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	MgO	CaO	BaO	Na_2O	K_2O
K	0,05	0,66*	0,17	0,45	1,66	1,73	4,32	3,9

Продолжение

Оксид	TiO_2	ZnO	PbO	As_2O_3	P_2O_5	Sb_2O_3
K	1,37	0,07	1,06	0,67	0,67	1,2

* При содержании 0–12% B_2O_3.

Показатель преломления и среднюю дисперсию рассчитывают по методу Л.И. Демкиной:

$$M_{ст} = \frac{\frac{P_1}{S_1}m_1 - \frac{P_2}{S_2}m_2 + \ldots + \frac{P_n}{S_n}m_n}{\frac{P_1}{S_1} + \frac{P_2}{S_2} + \ldots + \frac{P_n}{S_n}},$$

где $M_{ст}$ – средний показатель преломления (n_D) или средняя дисперсия ($n_F - n_C$) стекла; $P_1, P_2, \ldots, P_n$ – содержание оксидов в стекле, %; $m_1, m_2, \ldots, m_n$ – парциальные показатели преломления или средние дисперсии отдельных оксидов; $S_1, S_2, \ldots, S_n$ – парциальные коэффициенты для оксидов, входящих в состав стекла (табл. 1.8).

Таблица 1.8. Показатели преломлении, средняя дисперсии и парциальные коэффициенты для оксидов, входящих в состав стекла

Оксид	m для n_D	m для $(n_F - n_C)\ 10^5$	S
SiO_2	1,475	595	60
B_2O_3	1,464	670	70
Al_2O_3*	1,490	850	59
Sb_2O_3	1,080	3800	154
As_2O_3	1,570	1600	107
PbO	2,460	7700	343
BaO	2,030	2280	213
ZnO	1,960	2850	223
CaO	1,830	1750	86
MgO	1,640	1300	140
K_2O	1,580	1300	94
Na_2O	1,590	1400	66

Модуль упругости, МПа, рассчитывают по аддитивной формуле (1.2). Коэффициенты для оксидов, входящих в состав стекла, даны в табл. 1.9.

Таблица 1.9. Коэффициенты упругости для оксидов, входящих в состав стекла

Стекла	Оксид					
	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	ZnO	BaO
Не содержащие B_2O_3	610	400	–	700	520	–
Боросиликатные						
не содержащие PbO	1000	700	400	700	1000	700
содержащие B_2O_3 и PbO	700	300	300	–	–	300

Продолжение

Стекла	Оксид					
	PbO	B_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	As_2O_3
Не содержащие B_2O_3	460	–	1800	700	–	400
Боросиликатные						
не содержащие PbO	–	600	1500	700	–	400
содержащие B_2O_3 и PbO	550	250	1300	700	700	400

Пределы прочности при сжатии и растяжении, МПа, рассчитывают по аддитивной формуле (1.2). Коэффициенты для оксидов, входящих в состав стекла, даны в табл. 1.10.

Таблица 1.10. Коэффициенты прочности для оксидов, входящих в состав стекла

Характеристика нагрузки на стекло	Оксид					
	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	ZnO	BaO
Сжатие	6	0,5	0,1	2	6	6,2
Растяжение	0,2	0,1	0,1	2	1,5	0,5

Продолжение

Характеристика нагрузки на стекло	Оксид					
	PbO	Al_2O_3	B_2O_3	P_2O_5	As_2O_3	SiO_2
Сжатие	4,8	1	9	7,6	–	12,3
Растяжение	0,25	0,05	0,65	0,75	0,3	0,9

Расчет твердости, МПа, производят по аддитивной формуле (1.2). Коэффициенты для оксидов, входящих в состав стекла, даны в табл. 1.11.

Таблица 1.11. Коэффициенты твердости для оксидов, входящих в состав стекла

Оксид	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	CaO	BaO	ZnO	PbO	Na_2O	K_2O
Коэффициент	0,332	0,075	0,101	–0,638	0,195	0,710	0,145	–0,265	0,390

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РАСЧЕТ ШИХТЫ ПО ЗАДАННОМУ ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ СТЕКЛА

При расчете используют данные химического анализа применяемых сырьевых материалов. Состав стекла обычно задают в процентах от массы. Расчет состава шихты, кг, по заданному химическому составу ведут на 100 мас. ч. стекломассы.

Пример расчета состава шихты для сортового стекла механизированной выработки следующего состава, %: SiO_2 75,5, CaO 6, MgO 2,5, Na_2O 15, K_2O 1. Это значит, что для получения 100 кг стекломассы заданного состава необходимо с сырьевыми материалами ввести указанные количества оксидов в килограммах. Химический состав сырьевых материалов приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Химический состав сырьевых материалов

Материал	Необходимое количество, кг	Содержание, %							
		SiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	Потери при прокаливании
Песок	X_1	98,98	0,4	–	–	–	0,22	0,03	0,4
Мел	X_2	1,5	54	–	–	–	–	0,2	44,4
Доломит	X_3	3	27	19,8	–	–	1,6	0,2	48,4
Сода	X_4	–	–	–	56	–	–	–	44
Поташ	X_5	–	–	–	1,2	65,8	–	–	33
Стекло	100	75,5	6	2,5	15	1	–	–	–

Для получения 100 кг стекла необходимо взять $(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5)$ кг сырьевых материалов. Для определения требуемых количеств сырьевых материалов необходимо составить уравнения с учетом ввода определенного оксида с каждым сырьевым материалом. Покажем это на примере составления уравнения для SiO_2.

Из табл. 2.1 видно, что SiO_2 содержится в песке, меле и доломите. Тогда его вводится:

$$\text{с песком } X_1 \frac{98,98}{100} = 0,9898 X_1 \text{ кг;}$$

$$\text{с мелом } X_2 \frac{1,5}{100} = 0,015 X_2 \text{ кг;}$$

$$\text{с доломитом } X_3 \frac{3}{100} = 0,03 X_3 \text{ кг.}$$

Всего в стекло необходимо ввести 75,5 кг SiO_2. В связи с этим уравнение для SiO_2 примет вид

$$SiO_2\ 75,5 = 0,9898 X_1 + 0,015 X_2 + 0,03 X_3. \quad (2.1)$$

Аналогично составляют уравнения для других оксидов:

$$CaO\ 6 = 0{,}004X_1 + 0{,}54X_2 + 0{,}27X_3; \quad (2.2)$$

$$MgO\ 2{,}5 = 0{,}198X_3; \quad (2.3)$$

$$Na_2O\ 15 = 0{,}56X_4 + 0{,}012X_5; \quad (2.4)$$

$$K_2O\ 1 = 0{,}658X_5. \quad (2.5)$$

Из уравнений (2.3) и (2.5) определяем значения X_3 и X_5:

$$X_3 = 2{,}5 : 0{,}198 = 12{,}62 \text{ кг};$$

$$X_5 = 1 : 0{,}658 = 1{,}52 \text{ кг};$$

из уравнения (2.4) находим значение X_4:

$$X_4 = \frac{15 - 1{,}52 \cdot 0{,}012}{0{,}56} = 26{,}75 \text{ кг};$$

из уравнения (2.2) получаем:

$$X_2 = (6 - 0{,}004X_1 - 0{,}27X_3)/0{,}54 = (2{,}59 - 0{,}004X_1)/0{,}54.$$

Подставляем полученное значение X_2 в уравнение (2.1)

$$75{,}5 = 0{,}9898X_1 + \frac{2{,}59 - 0{,}004X_1}{0{,}54}\,0{,}015 + 0{,}03 \cdot 12{,}62,$$

откуда $X_1 = 75{,}71$ кг.

Определяем окончательное значение X_2:

$$X_2 = (2{,}59 - 0{,}004 \cdot 75{,}71)/0{,}54 = 4{,}24 \text{ кг}.$$

Для соды и поташа следует учитывать потери на улетучивание: для соды 3%, для поташа 12%.

С учетом потерь количество этих материалов составит:

$$X_4 = 26{,}75 \cdot 1{,}03 = 27{,}6 \text{ кг};$$

$$X_5 = 1{,}52 \cdot 1{,}12 = 1{,}7 \text{ кг}.$$

Таким образом, состав шихты, кг на 100 кг стекла, будет следующим:

Песок	75,71
Мел	4,24
Доломит	12,62
Сода	27,60
Поташ	1,70
Всего	121,87

Из этого количества материалов в стекло войдет, %:

с песком

$$SiO_2\ 75{,}71 \cdot 98{,}98/100 = 74{,}95; \quad CaO\ 75{,}71 \cdot 0{,}4/100 = 0{,}33;$$

$$Al_2O_3\ 75{,}71 \cdot 0{,}22/100 = 0{,}166; \quad Fe_2O_3\ 75{,}71 \cdot 0{,}03/100 = 0{,}0227;$$

с мелом

$$SiO_2\ 4{,}24 \cdot 1{,}5/100 = 0{,}0636; \quad CaO\ 4{,}24 \cdot 54/100 = 2{,}29;$$

$$Fe_2O_3\ 4{,}24 \cdot 0{,}2/100 = 0{,}0085;$$

с доломитом

$$SiO_2\ 12{,}62 \cdot 3/100 = 0{,}378; \quad CaO\ 12{,}62 \cdot 27/100 = 3{,}405;$$

$$MgO\ 12{,}62 \cdot 19{,}8/100 = 2{,}50; \quad Al_2O_3\ 12{,}62 \cdot 1{,}6/100 = 0{,}202;$$

$$Fe_2O_3\ 12{,}62 \cdot 0{,}2/100 = 0{,}0025;$$

с содой

$$Na_2O\ 26{,}75 \cdot 56/100 = 14{,}97;$$

с поташем

$$K_2O\ 1{,}52 \cdot 65{,}8/100 = 0{,}998; \quad Na_2O\ 1{,}52 \cdot 1{,}2/100 = 0{,}0182.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Составы шихты и стекла

Материал	Необходимое количество, кг	Содержание, %						
		SiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3
Песок	75,71	74,95	0,33	–	–	–	0,166	0,0227
Мел	4,24	0,064	2,29	–	–	–	–	0,0085
Доломит	12,62	0,378	3,4	2,50	–	–	0,202	0,0025
Сода	27,60	–	–	–	14,97	–	–	–
Поташ	1,70	–	–	–	0,018	0,998	–	–
Всего	121,87	75,392	6,02	2,50	14,99	0,998	0,368	0,0337

Если из 121,87 кг шихты получается 100 кг стекла, то из 100 кг шихты получится стекла (100 : 121,87) 100 = 82 кг.

Таким образом, потери при стеклообразовании для данного состава сырья составят: 100 – 82 = 18 кг.

При расчетах состав стекла часто выражают в молекулярных соотношениях. Проведем подобный пересчет для приведенного заданного состава сортового стекла.

Число молей M каждого оксида в стекле определяется по формуле

$$M = n/P,$$

где n – содержание данного оксида в стекле, %; P – молекулярная масса оксида.

$$M_{SiO_2} = 75{,}5 : 60{,}06 = 1{,}26 \text{ моль}; \quad M_{CaO} = 6 : 56{,}07 = 0{,}107 \text{ моль};$$

$$M_{MgO} = 2{,}5 : 40{,}32 = 0{,}0625 \text{ моль}; \quad M_{Na_2O} = 15 : 62 = 0{,}242 \text{ моль};$$

$$M_{K_2O} = 1 : 94 = 0{,}01 \text{ моль}.$$

Полученные данные составляют молекулярную формулу стекла. Исходя из формулы можно получить состав стекла в молекулярных долях, выраженных в процентах, по следующей формуле (на примере SiO_2):

$$m_{SiO_2} = \frac{M_{SiO_2}}{M_{SiO_2} + M_{CaO} + M_{MgO} + M_{Na_2O} + M_{K_2O}}\,100,$$

где m – содержание оксида в стекле, %.

Таким образом:

$$m_{SiO_2} = \frac{1{,}26}{1{,}6815}\,100 = 74{,}91\%;$$

$$m_{CaO} = \frac{0{,}107}{1{,}6815}\,100 = 6{,}36\%;$$

$$m_{MgO} = \frac{0,0625}{1,6815}\,100 = 3,71\%;$$

$$m_{Na_2O} = \frac{0,242}{1,6815}\,100 = 14,42\%;$$

$$m_{K_2O} = \frac{0,01}{1,6815}\,100 = 0,59\%.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ОТЖИГА

Зависимость высшей температуры отжига от состава стекла показана в табл. 3.1. Окончательно высшую температуру отжига можно приближенно определить с использованием данных Гельгофа и Томаса (табл. 3.2).

Пример расчета высшей температуры отжига тарного стекла состава, %: SiO_2 – 72,7; Al_2O_3 – 2,5; Fe_2O_3 – 0,3; CaO – 6,0; MgO – 4,0; Na_2O – 14,5.

1. Из данных табл. 3.1 находим состав стекла, близкий заданному. Ближе всего подходит состав № 10. Высшая температура отжига этого стекла равна 560° С.

2. 1% Al_2O_3 при содержании его в стекле 0–5% повышает температуру отжига на 3° С (см. табл. 3.2.). В заданном составе стекла содержится 2,5 Al_2O_3. Следовательно, высшая температура отжига понизится на + 3 (2,5 – 3) = – 1,5° С.

3. 1% CaO при содержании его в стекле 5–10% увеличивает температуру отжига на 6,6° С. В заданном составе содержится 6% CaO, следовательно, высшая температура отжига понизится на +6,6 (6 – 7) = –6,6° С.

4. 1% MgO при содержании его в стекле 0–5% повышает температуру отжига на 3,5° С. В заданном составе содержится 2% MgO, следовательно, высшая температура отжига повысится на +3,5 (4 – 2,5) = +5,25° С.

5. Содержание Na_2O в обоих стеклах является одинаковым, а влияние 0,3% Fe_2O_3 не учитывается.

6. Высшая температура отжига заданного состава стекла

$$t_в = 560 - 1,5 - 6,6 + 5,25 \approx 557° С.$$

Для расчета температурно-временных режимов отжига стеклотарных и сортовых изделий используются следующие обозначения:

$t_в$ и $t_н$ – высшая и низшая температура отжига, ° С;

$t'_{изд}$ и $t''_{изд}$ – температура изделий перед и после отжига, ° С;

$\alpha' = \alpha \cdot 10^7$ – температурный коэффициент линейного расширения, 1/° С ($\alpha = 90 \cdot 10^{-7}$ 1/° С, $\alpha' = 90$ 1/° С);

a_{max} – максимальная толщина стенки изделия, см;

$a_{ср}$ – средняя толщина стенки изделия, см;

v_1, v_3, v_4 – скорости охлаждения (нагревания) изделий, ° С/мин;

τ_1, τ_2, τ_3, τ_4 – время охлаждения (нагревания) или выдержки изделий, мин.

Расчет режимов отжига можно вести двумя способами. По первому способу скорости охлаждения (нагревания) и время рассчитывают по эмпирическим формулам для каждой стадии отжига. По второму способу сначала определяют скорость охлаждения на третьей стадии. В зависимости от нее определяют скорость нагревания и охлаждения на первой и четвертой стадиях (способ фирмы "Корнинг", США).

Формулы для расчета режимов отжига сведены в табл. 3.3.

Пример расчета режимов отжига тарных изделий (табл. 3.4) из стекла, состав которого приведен при расчете высшей температуры отжига: $t_в = 557°$ С; $t_н = 450°$ С; $t'_{изд} = 450°$ С; $t''_{изд} = 40°$ С; $\alpha' = 90$ 1/° С, $a_{max} = 0,5$ см; $a_{ср} = 0,3$ см.

В практических условиях время на всех стадиях увеличивается из-за неопределенности температурных границ по длине туннеля печи отжига. Обычно время отжига для принятых видов изделий составляет в зависимости от точности поддержания температуры 50–70 мин.

Таблица 3.1. Высшая температура отжига в зависимости от содержания оксидов в стекле

Номер состава	Содержание оксида, %											Высшая температура отжига, ° С
	SiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	B_2O_3	PbO	ZnO	As_2O_3	
1	64,5	7	–	11,5	–	10	–	7	–	–	–	630
2	62,43	8,9	–	6,26	8,06	0,62	0,08	13,65	–	–	–	610
3	71	10,1	–	–	18,6	–	–	–	–	–	0,3	610
4	73,31	8,4	–	6,14	9,38	0,65	0,07	2,05	–	–	–	588
5	74,74	10,38	–	14,22	–	0,45	0,21	–	–	–	–	581
6	68,52	10,26	–	16,22	–	2,5	2,1	–	–	–	–	570
7	73,96	9,74	–	13,54	–	2,67	0,09	–	–	–	–	562
8	74,07	7,91	–	12,72	–	5,23	0,07	–	–	–	–	560
9	72	1,55	0,45	7,2	10,45	–	–	8,15	–	–	0,2	560
10	73	7	2,5	14,5	–	3	–	–	–	–	–	560
11	66,45	5,4	–	7,85	13,7	1,5	–	1,1	–	3,8	0,2	535
12	75	7,52	1,64	14,84	–	9,3	0,08	–	–	–	–	524
13	82,64	0,02	–	16,98	–	0,28	0,08	–	–	–	–	522
14	66,25	17,28	–	15,89	–	0,52	0,06	–	–	–	–	496
15	59,44	–	–	12,31	–	0,42	0,06	–	27,77	–	–	446
16	31,6	–	–	–	2,85	–	–	–	65,35	–	0,2	370

Т а б л и ц а 3.2. Изменение высшей температуры отжига, °C, при замене 1% SiO_2 на 1% другого оксида (по Гельгофу и Томасу)

Оксид	Содержание оксида, %								
	0–5	5–10	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–50
Na_2O	–	–	–4	–4	–4	–4	–4	–	–
K_2O	–	–	–	–3	–3	–3	–	–	–
MgO	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	–	–	–	–
CaO	7,8	6,6	4,2	1,8	0,4	–	–	–	–
ZnO	2,4	2,4	2,4	1,8	1,2	0,4	–	–	–
BaO	1,4	–	–0,2	–0,9	–1,1	–1,6	–2	–2,6	–
PbO	–0,8	–1,4	–1,8	–2,5	–2,6	–2,8	–3	–3,1	–3,1
B_2O_3	8,2	4,8	2,6	0,4	–1,5	–1,5	–2,6	–2,6	–2,8
Al_2O_3	3	3	3	3	–	–	–	–	–
Fe_2O_3	–	–	–0,6	–1,7	–2,2	–2,8	–	–	–

Т а б л и ц а 3.3. Расчет режимов отжига

Стадия отжига	Расчетные формулы для способа	
	первого	второго
1. Быстрое нагревание (охлаждение) до высшей температуры отжига	$v_1 = \frac{20}{a_{max}} \div \frac{30}{a_{max}}$ Нагревание $\tau_1 = \frac{t_в - t'_{изд}}{v_1}$ Охлаждение $\tau_1 = \frac{t'_{изд} - t_в}{v_1}$	$v_1 = 10 v_3$
2. Выдержнвание нзделий при высшей температуре отжига	$\tau_2 = 70 \div 120 \left(\frac{a_{max}}{2}\right)^2$ Обычно $\tau_2 = 102 \left(\frac{a_{max}}{2}\right)^2$	$\tau_2 = 28 a_{ср} - 3$
3. Медленное охлаждение	$v_3 = 1{,}33/a^2_{max}$ $\tau_3 = \frac{t_в - t_н}{v_3}$	$v_3 = \frac{40}{\alpha' a^2_{ср}}$
4. Быстрое охлаждение	$v_4 = \frac{10}{a^2_{max}} \div \frac{15}{a^2_{max}}$ Можно прннимать $v_4 = 20–60°$ С/мин $\tau_4 = \frac{t_н - t''_{изд}}{v_4}$	$v_4 = 10 v_3$

Температуру нзделнй можно прннимать 40° С

Т а б л и ц а 3.4. Результаты расчетов режимов отжига

Стадия отжига	Результаты расчетов для способа	
	первого	второго
1	$v_1 = \frac{25}{a_{max}} = \frac{25}{0,5} = 50°$ С/мин $\tau_1 = \frac{557 - 450}{50} = 2{,}1$ мин	$v_1 = 10 v_3 = 50°$ С/мнн $\tau_1 = \frac{557 - 450}{50} = 2{,}1$ мин
2	$\tau_2 = 102\,(0{,}25)^2 = 6{,}4$ мнн	$\tau_2 = 28 a_{ср} - 3 = 28 \cdot 0{,}3 - 3 = 5{,}4$ мин
3	$v_3 = \frac{1{,}33}{(0{,}5)^2} = 5{,}3°$ С/мин $\tau_3 = \frac{557 - 450}{5{,}3} = 20$ мин	$v_3 = \frac{40}{90 \cdot 0{,}09} = 5°$ С/мин $\tau_3 = \frac{557 - 450}{5} = 21{,}4$ мин
4	$v_4 = \frac{10}{(0{,}5)^2} = 40°$ С/мин $\tau_4 = \frac{450 - 40}{40} = 10{,}25$ мин	$v_4 = 10 v_3 = 50°$ С/мии $\tau_4 = \frac{450 - 40}{50} = 8{,}2$ мин
Общее время отжига	$\tau = 38{,}75$ мин	$\tau = 37{,}1$ мин

П Р И Л О Ж Е Н И Е 4. НЕКОТОРЫЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Т а б л н ц а 4.1. Влияние оксидов на свойства силикатных стекол

Свойства и характеристики	SiO_2	Li_2O	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	BaO	ZnO	PbO	Al_2O_3	ZrO_2	B_2O_3	P_2O_5	TiO_2
Температура плавления	+	–	–	–	–	±	–	–	–	+	+	–	+	–
Вязкость	+	–	–	–	–	±	–	–	–	+	+	–	±	–
Кристаллизационная способность	+	+	–	–	+	±	–	+	–	–	+	–	–	–
Поверхностное натяжение	+	–	–	–	+	+	+	+	–	+	+	–	–	–
Плотность	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+	+
Механические	+	–	–	–	+	–	–	+	–	+	+	+	+	+
Хнмическая стойкость	+	–	–	–	+	–	–	+	–	+	+	+	–	+
ТКЛР	–	+	+	+	+	+	+	–	+	–	–	–	+	–
Термостойкость	+	–	–	–	–	–	–	+	–	+	+	+	–	+
Коэффициент преломления	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

(+) – показатель свойства увеличивается, (–) – уменьшается, (±) – зависит от концентрации оксида.

Таблица 4.2. Некоторые составы бессвинцовых хрусталей

Хрусталь	Содержание компонентов, %								Сверх 100%		
	SiO_2	R_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	BaO	B_2O_3	ZnO	As_2O_3	Sb_2O_3	NaCl
Богемский	77,2	–	5,6	2,4	14,8						
»	71,7	0,7	10,3	2,5	13,7	–	–	–	–	–	–
Калиевый	74,7	–	6	6,3	12	–	–	–	–	–	–
Бариевый	58	–	–	3	16	–	1	–	0,08	0,08	1
»	60	–	–	4	14	18	–	5	0,3	–	–
Цинковый	65	–	–	12	5	20	–	2	0,5	–	–
						–	4	14	–	–	–

4.3. Расход топлива, %, в производстве стеклотары и сортовой посуды

	Стеклотара	Сортовая посуда
Варка стекломассы	72–75	50–52
Отжиг и обработка изделий	15–19	15–16
Обработка сырья	3	11
Теплоснабжение технологическое н санитарно-техническое	6–10	20–22

Таблица 4.4. Эффективность применения теплоизоляции

Элемент печи	Температура наружной поверхности, °С, печи		Тепловыделения в окружающую среду, кВт·ч, из печи	
	без теплоизоляции	с теплоизоляцией	без теплоизоляции	с теплоизоляцией
Стены бассейна	74	290	315,7	14,6
Подвесные стены пламенного пространства	64	270	93,9	2,1
Главный свод	100	250	192,8	35,4
Итого	–	–	602,4	52,1

Таблица 4.5. Некоторые физико-химические свойства хрустальных стекол

Стекло	Массовая доля PbO, %	Коэффициент светопреломления, не менее	Плотность, кг/м³, не менее	Класс водостойкости
Хрусталь:				
свинцовый	24	1,545	2900	III
малосвинцовый	18	1,530	2700	III
бариевый	20	1,530	2700	III–IV
Хрустальное	≥10*	1,520	2400	III

* $PbO + BaO + K_2O + ZnO$.

Таблица 4.6. Составы связующих смесей для термопластичных красок

Компонент	Массовая доля, %, в составах				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Воск пчелиный	76	55	57,26	33,33	–
Спермацет	–	15,2	16,48	23,92	60
Канифоль	14,88	17	9,73	15,82	–
Касторовое масло	9,12	12,8	6,8	11,11	–
Бальзам	–	–	9,73	15,82	–
Парафин	–	–	–	–	40

4.7. Техническая характеристика установки для упрочнения стекляиной тары

Скорость перемещения изделий, м/с	0,2–0,4
Температура стеклоизделий, °С	450–600
Применяемый реактив	$SnCl_4$, $TiCl_4$
Расход реактива, кг/сутки	1,5
Расход компрессорного воздуха, м³/ч	3
Давление воздуха, МПа	0,05
Относительиая влажность воздуха, %	10–40
Осушитель воздуха	Цеолит Na-A или Na-X
Расход осушителя, кг/год	30
Габаритные размеры, мм	1700x650x650
Масса, кг	103

4.8. Техническая характеристика абсорбциоиной установки для улавливания фтористых соединений при хнмическом полировании стеклоизделий

Производительность, м³/ч	450
Концентрация фтористых соединений иа входе, г/м³, не более	60
Гидравлическое сопротивление, Па	450
Разрежение, Па, не более	6000
Температура, °С, не более	50
Расход воды, л/ч	45
Габаритные размеры, мм	580x2260x3310
Степень очистки газа при максимальной загрязненности, %	99,5

Таблица 4.9. Состав и свойства огнеупоров

Огнеупоры	Содержание главных компонентов, %	Максимальная температура применения, °C	Кажущаяся плотность, кг/(м^3 · 10^{-3})	Кажущаяся пористость, %	Средний ТКЛР в интервале температур 20–1000° C $\alpha \cdot 10^7$, 1/°C	Теплопроводность в интервале температур 200–1000° C, Вт/(м · °C)
			Керамические огнеупоры			
Шамотные	Al_2O_3 30–43; SiO_2 51–66	1350–1450	1,7–2,4	2–28	45–70	0,9–1,6
Каолиновые	Al_2O_3 40–45; SiO_2 52–57	1450–1500	1,7–2,5	2–25	43	1–1,8
Полукислые	Al_2O_3 15–30; SiO_2 66–82	1300–1400	1,6–2,3	4–28	70–80	0,9–1,6
Силиманитовые	Al_2O_3 50–60; SiO_2 36–47	1450–1550	2,3–2,6	16–25	44	1,6–1,9
Муллитовые	Al_2O_3 60–75; SiO_2 21–40	1500–1650	2,3–3	2–25	43–75	1,7–3,4
Корундовые	Al_2O_3 76–99	1650–1900	2,6–3,7	2–25	70–85	2,3–4
Циркониевые	$ZrSiO_4$ 80–95	1450–1600	3,5	18–26	50	1,2–1,7
Динасовые	SiO_2 94–98	1600–1650	1,2–2	18–30	130	1,4–1,9
Магнезитовые	MgO 80–92	1550–1800	2,8–3	12–28	135	3–3,7
Хромомагнезитовые	MgO 50–60; Cr_2O_3 15–30	1500–1700	2,8–3,1	18–23	105	1,7–2,2
			Плавленые огнеупоры			
Муллитовые и циркономуллитовые	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ 88–97	1500–1650	2700–2900	3–10	60–70	2,3–2,8
Бакор-33	Al_2O_3 49–51; ZrO_2 32–34; SiO_2 12–13	1500–1700	3400–3500	3–5	50–70	3,5
Корундовые (корвишит)	Al_2O_3 99	1900	3000	10–12	85	4,5
Плавленый кварц	SiO_2 99	1650–1680	2000	0	5–6	2

Таблица 4.10. Составы, %, и некоторые свойства окрашивающих фритт, применяемых при окрашивании сваренной стекломассы

Компонент окрашивающих фритт	Цвет стекла при окрашивании				
	зеленый	изумрудно-зеленый	синий, голубой	фиолетовый	оранжевый
SiO_2	50	50	50	35	43
B_2O_3	8	10,5	8	14,5	5
CaO	9	5	9	5	7,5
MgO	3	1	3	–	2
Na_2O	18	21,5	18	10	18,5
K_2O	6	–	6	–	–
Al_2O_3	2,5	2	3	–	–
Cr_2O_3	3	10	–	0,5	–
Co_2O_3	–	–	3	–	–
CuO	1,5	–	–	–	–
$MnO + Mn_2O_3$	–	–	–	35	–
Сульфоуголь	–	–	–	–	24

Аппеи А.А. Химия стекла. М., Химия, 1974.

Альтах О.Л., Саркисов П.Д. Шлифование и полирование стекла и стеклоизделий. М., Высшая школа, 1983.

Вацек М., Купф В. Химическая обработка стекла /Пер. с чешск. М., Легкая иидустрия, 1974.

Волгииа Ю.М. Теплотехническое оборудование стекольных заводов. М., Стройиздат, 1982.

Гулояи Ю.А. Эффективиость техиологических процессов в производстве стеклянных изделий. М., Легкая и пищевая пром-сть, 1982.

Гулоии Ю.А. Декоративная обработка стекла и стеклоизделий. М., Высшая школа, 1984.

Гулояи Ю.А., Казаков В.Д., Смириов В.Ф. Производство стеклянной тары. М., Легкая индустрия, 1979.

Зубанов В.А., Чугуиов Е.А., Юдии Н.А. Механическое оборудование стекольных и ситалловых заводов. М., Машииостроение, 1984.

Коитроль производства и качества изделий из стекла /Трошин Н.Н., Горина И.Н., Сергеева Л.С. и др. М., Высшая школа, 1984.

Коцик И., Небржеиский И., Фандерлик И. Окрашивание стекла /Пер. с чешск. М., Стройиздат, 1983.

Лаптев В.И. Автоматический контроль и регулирование техиологических процессов в производстве стеклотары. М., Легкая индустрия, 1977.

Лиллие Х. Качество и стандартизация /Пер. с иемецк. М., Экономика, 1982.

Орлов А.Н., Елизаров А.И., Рогачев И.В. Новые автоматические линии для производства стекляииой тары. М., Легкая индустрия, 1976.

Рашин Г.А., Рашииа Е.П., Рохлин Н.Н. Диагностика пороков сортовых и тарных стекол. М., Легкая индустрия, 1980.

Саркисов П.Д., Агарков А.С. Техиический анализ и контроль производства стекла и изделий из иего, М., Стройиздат, 1976.

Сергеев Ю.П. Выполнеиие художественных изделий из стекла. М., Высшая школа, 1984.

Станек Я. Электрическая варка стекла /Пер. с чешск. М., Легкая индустрия, 1979.

Техиологии строительного и технического стекла и шлакоситаллов /Полляк В.В., Саркисов П.Д., Солинов В.Ф. и др. М., Стройиздат, 1983.

Федорова В.А., Гулоии Ю.А. Производство сортовой посуды. М., Легкая и пищевая пром-сть, 1983.

Химическая техиология стекла и ситаллов / Под ред. Н.М. Павлушкина. М., Стройиздат, 1983.

Храмков В.П., Гулоян Ю.А., Лаптев В.И. Формование изделий из стекла. М., Легкая индустрия, 1980.

Юдин Н.А., Гулоии Ю.А. Техиология стеклотары и сортовой посуды. М., Стройиздат, 1977.